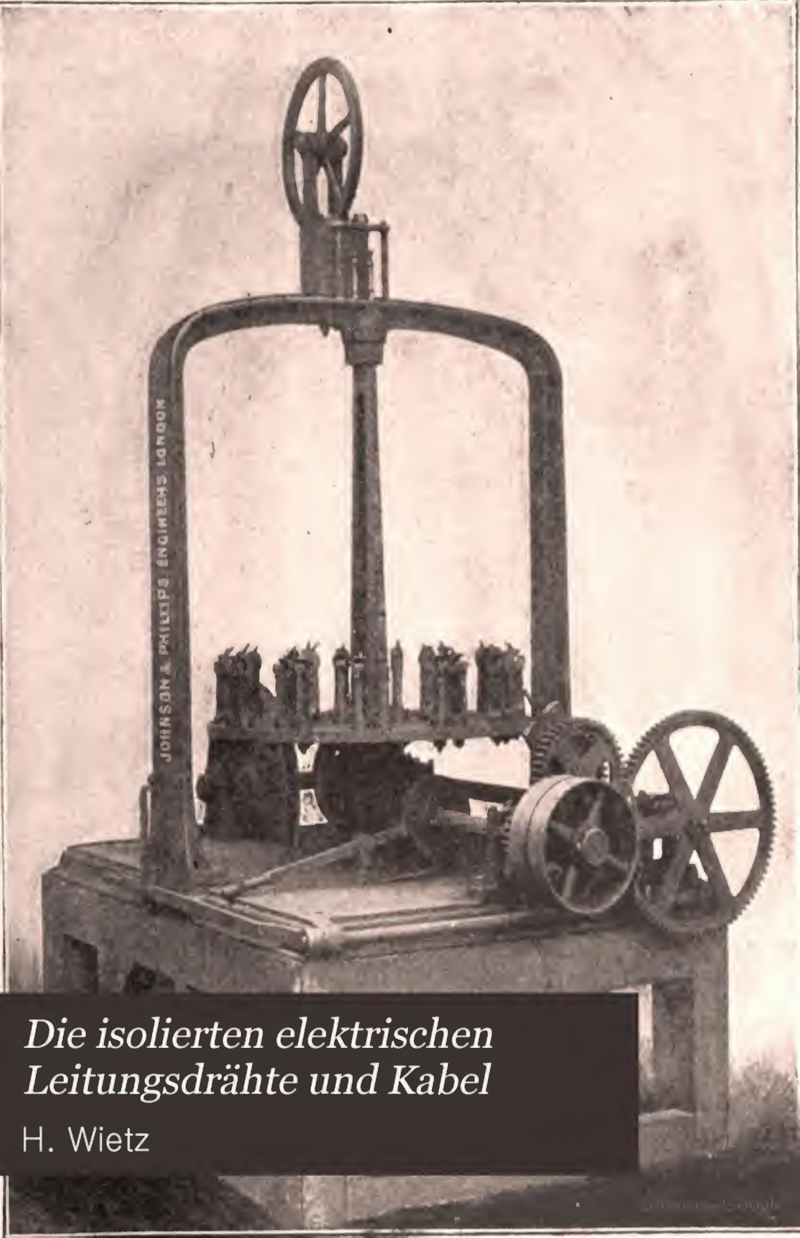


Die isolierten elektrischen Leitungsdrähte und Kabel

H. Wietz

Die isolierten elektrischen

Leitungsdrähte und Kabel.

Ihre Erzeugung, Verlegung und Unterhaltung.

Dargestellt

und durch 159 in den Text gedruckte Figuren erläutert

von

Hugo Wietz.



Leipzig

Verlag von Oskar Leiner

1897.

Vorwort.

Die seit mehreren Decennien im stetigen Wachsen begriffene Verbreitung der Telegraphenleitungen, welche, alle Weltteile verbindend, heute bereits den Erdball umspannen, die rasche Entwickelung der Telephonie sowie die Verbreitung der elektrischen Beleuchtungs- und Traktionsanlagen brachte naturgemäss einen grossen Bedarf an isolierten elektrischen Leitungsmaterialien mit sich. — Demzufolge hat sich die Kabelfabrikation, welche vor verhältnismässig wenigen Jahren noch einen ziemlich unbedeutenden Nebenzweig der elektrotechnischen Industrie bildete, mit dem mächtigen Emporblühen und Wachsen aller der Elektrizität dienenden Fabrikationszweige zu ungeahnter Bedeutung emporgeschwungen. Mit der fortschreitenden Entwickelung der Kabelindustrie nahm aber auch die Zahl jener Interessenten zu, welche, obwohl der eigentlichen Kabelfabrikation mehr oder weniger fern stehend, doch das Bedürfnis haben, über die Entstehung, die mechanische Beschaffenheit und über die elektrischen Eigenschaften der Kabel und aller sonstigen isolierten Leitungsmaterialien Aufklärung zu erlangen.

Der grossen Mehrzahl praktischer Elektrotechniker, welch letztere zu allen ihren Arbeiten isolierte Leitungen benötigen, ist jedoch, wegen Mangel an einem praktischen Behelfe, ein genügender Einblick in diese Industrie bisher versagt geblieben, aus welchem Grunde sich die diesem Industriezweige entstammenden Fabrikate in vielen Fällen der Beurteilung des Konsumenten völlig entziehen, so dass dieser häufig nicht zu ermessen vermag, was er von einer isolierten Leitung, sei sie nun ein schweres Kabel oder ein zarter Multiplikationsdraht, verlangen muss und darf.

Die richtige Wahl und die richtige Behandlung sowie die fachgemässe Untersuchung der isolierten Leitungsmaterialien ist dem Praktiker nur dann möglich, wenn er die Beschaffenheit

und die Eigentümlichkeiten derselben kennt; da aber diese Eigenschaften sowohl durch die bei der Herstellung der Leitung verwendeten Rohmaterialien als auch durch die Art und Weise des Fabrikationsverfahrens bedingt werden, so ist es für den praktischen Elektrotechniker von grosser Wichtigkeit, sich hierüber das Wissenswerte selbst anzueignen. — Auch die Kenntnis der elektrischen Vorgänge in Kabeln sowie jene ihrer Untersuchung wird für den Elektrotechniker zur Notwendigkeit, denn diese Kenntnis bildet ja das einzige Hilfsmittel, um die Qualität eines Kabels in elektrischer Beziehung beurteilen zu können.

Obwohl in vielen vorzüglichen Werken zerstreut so manches aus dem Gebiete der Kabeltechnik enthalten ist, so besteht doch für alle Elektrotechniker das dringende Bedürfnis nach einem Behelfe, welcher alles Wissenswerte über die Herstellung, Verlegung und Untersuchung solcher Leitungen in knapper Form enthält. — Dies hat sich der Verfasser nun zur Richtschnur für die vorliegende Schrift dienen lassen und hofft mit derselben eine Lücke in der elektrotechnischen Litteratur auszufüllen, da sie geeignet ist, sowohl dem Konsumenten Aufschluss zu geben, als auch den Fabrikanten von der Erteilung der von ihm erlangten vielen Auskünfte, wenigstens teilweise, zu entheben.

Der Verfasser versuchte seine Aufgabe dadurch zu lösen, dass er den zu behandelnden Stoff, soweit er eben für die Allgemeinheit von besonderem Interesse ist, in möglichst gedrängter Kürze in drei Teile sonderte, deren erster die Erzeugung, deren zweiter die Verlegung und deren dritter die elektrische Untersuchung isolierter Leitungen in sich schliesst.

Die mechanischen Vorgänge während der Fabrikation wurden nur so weit behandelt, als sie für den grossen Kreis der Elektrotechniker zur Beurteilung der durch ihre Hände gehenden isolierten Leitungen von Belang sind; dagegen wurde auf die verschiedenen Arten von Leitungen, ihre richtige Verwendung und notwendige Beschaffenheit grösseres Gewicht gelegt. Was die Verlegung von Kabeln betrifft, so konnte nur die Verlegung unterirdischer und submariner Kabel Berücksichtigung finden, und namentlich letztere konnte nur in allgemeinen Umrissen behandelt werden, da es unmöglich war, ein Gebiet, welches heute schon einen so grossen Umfang angenommen hat, auf

dem zur Verfügung stehenden, sehr beschränkten Raume erschöpfend zu behandeln. Es sei daher diesbezüglich auf das vorzügliche Werk von H. D. Wilkinson, »Submarine Cable Laying and Repairing«, London 1896, verwiesen.

Der elektrische Teil dieses Buches soll dem Leser in erster Linie ein Bild der elektrischen Erscheinungen in isolierten Leitungen vor Augen führen, und es wurde auf dieses Kapitel aus dem Grunde etwas näher eingegangen, weil die elektrischen Vorgänge in Kabeln die Begründung vieler bei der Fabrikation notwendigen Prozesse bilden und weil man die während der Kabelmessungen auftretenden Erscheinungen nur dann richtig zu deuten vermag, wenn man mit den elektrischen Vorgängen in Kabeln vollkommen vertraut ist.

In zweiter Linie soll der Leser am elektrischen Teile dieser Schrift einen Wegweiser durch das Gebiet der Messtechnik finden, welcher ihm die fachgemässe Behandlung und Anwendung der bei Kabelmessungen notwendigsten Instrumente erleichtern soll. — Leider konnte sich der Verfasser auch hier, namentlich bei Besprechung der Fehlerbestimmungen, nur sehr kurz fassen, doch dürften die angeführten Fälle und Schaltungen genügen, dem Leser als Basis für weitere selbständige Untersuchungen zu dienen.

Als Quellen benutzte der Verfasser hauptsächlichst folgende Werke:

Dr. Julius Dub. Die Anwendung des Elektromagnetismus.
M. Jüllig. Die Kabeltelegraphie.
Dr. H. Scheller. Das atlantische Kabel.
Werner Siemens. Wissenschaftliche Abhandlungen.
» » Lebenserinnerungen.
W. Thomson. Gesammelte Abhandlungen zur Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus.
A. Wilke. Die Elektrizität.
H. D. Wilkinson. Submarine Cable Laying and Repairing.
J. Zacharias. Die elektrischen Leitungen und ihre Anlagen für alle Zwecke der Praxis.
» » Die Unterhaltung und Reparatur der elektrischen Leitungen für alle Zwecke der Praxis.
Prof. Dr. K. E. Zetzsche. Handbuch der elektrischen Telegraphie.

Ferner die Zeitschriften:

Dingler's polytechnisches Journal.
Förster's Bauzeitung.
The Electrical World.
The Electrical Review.
Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.
Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien.

Schliesslich erfüllt der Verfasser an dieser Stelle die angenehme Pflicht, den geehrten Firmen Johnson & Phillipps in London, Siemens & Halske und Brüder Demuth in Wien, welche teils durch wertvolle Beiträge, teils durch die bereitwillige Überlassung von Zeichnungen in geeigneter Weise zur Vollendung des vorliegenden Buches beigetragen haben, und endlich seinem geehrten Fachkollegen, Herrn Anton Zeschall, für die präzise Ausführung vieler Zeichnungen seinen besten Dank auszusprechen.

Wien, im Mai 1897.

Hugo Wietz.

Inhalts-Verzeichnis.

Seite

I. Teil.

Die Eigenschaften und die Fabrikation der isolierten elektrischen Leitungsdrähte und Kabel.

II. Teil.

Die Verlegung der Kabel.

III. Teil.



Historischer Überblick.

Obwohl die Kenntnis, die Elektrizität auf grössere Entfernung fortführen zu können, noch in eine Zeit fällt, in welcher man an eine praktische Verwertung dieses Umstandes nicht dachte, bildete sie doch die Grundlage zur Erfindung der Telegraphie, welche ihrerseits wieder die unmittelbare Veranlassung der grossartigen Entwickelung der elektrischen Leitungen war.

Die ältesten Nachrichten über die diesbezüglich angestellten Versuche reichen in das Jahr 1727 zurück, in welchem Jahre Stephan Gray die Fortpflanzung der Elektrizität durch einen in der Luft an Seidenfäden anfgehängten Draht von 700 Fuss Länge beobachtet hat. Ähnliche Versuche machte Du Fay in den Jahren 1733—1737, welcher die Elektrizität durch einen 1256 Fuss langen Draht leitete und den Ausdruck »metallischer Leiter« erfand; ihm reihten sich Prof. Joh. Heinr. Winkler in Leipzig (1744), Abbé Nollet sowie P. Joseph Franz (1746) und andere Forscher an, und im Jahre 1753 kam man auf den Gedanken, diese Eigenschaft der Elektrizität für praktische Zwecke zu verwerten und eine Art Zeichen-Korrespondenz zu erfinden.

Als dieser Gedanke in die Welt geschleudert war, wurde er von vielen Berufenen und Unberufenen aufgegriffen und zur Verwirklichung dieser Idee zahllose Experimente gemacht, welche sich zum Teile auch auf die Verbesserung der Leitungen erstreckten. —

Im Jahre 1774 fasste Lesage in Genf bereits den Entschluss, die Leitungen unterirdisch in glasierten Thonröhren zu verlegen; doch diese, sowie auch die späteren Vorschläge und Versuche mussten erfolglos bleiben, da man damals nur die Reibungselektrizität kannte und eine ungeschwächte Fortleitung derselben auf grössere Entfernungen unmöglich war.

Erst als im Jahre 1801 die galvanische Elektrizität entdeckt wurde, nahmen die Versuche über deren Fortleitung einen befriedigenderen Verlauf; sie wurden von F. H. Basse in Hameln schon bis auf 4000 Fuss lange Strecken ausgedehnt und von Samuel Thomas von Sömmering in München im Jahre 1809 durch die Erfindung des ersten in der Praxis verwendeten elektrischen Telegraphen zu einem gewissen Abschlusse gebracht. Sömmering isolierte seine Leitungsdrähte mit Schellack und drehte sie zu einem Seile zusammen. Um dieses Seil ohne Elektrizitätsverlust auch unter Wasser gebrauchen zu können, bestrich er es mit in Äther aufgelöstem Kautschuk, ohne dabei zu ahnen, dass er durch dieses Verfahren den Grundstein zu einem zukünftigen grossartigen Industriezweige, der heutigen Kabelfabrikation, gelegt hatte. —

Ernster machte sich Sömmering's Freund Baron Schiling von Canstadt an die Herstellung eines elektrischen Leitungsseiles, mit welchem er durch feuchte Erde und Wasser telegraphierte und im Jahre 1812 auch Sprengungen durch das Wasser ausführte. Grössere Versuche mit einer im Wasser versenkten Telegraphenleitung machte Schilling im Jahre 1836, und diese hätten beinahe schon damals zur Anlage eines unterseeischen Telegraphen geführt.

In dem Masse, als sich in der nun folgenden Zeitepoche die Versuche mit der elektrischen Telegraphie mehrten, trachtete man auch, die elektrischen Leitungen zu verbessern, und der Gedanke, die Leitungen unterirdisch zu verlegen, begann umsomehr festen Fuss zu fassen, als man mit den damaligen wenigen oberirdischen Leitungen infolge der schädlichen Witterungseinflüsse und der äusserst mangelhaft isolierten Stützpunkte keine guten Erfahrungen gemacht hatte. — Bessere Erfolge erhoffte man sich von der unterirdischen Leitung, und es wurden zahlreiche Versuche angestellt, welche anfangs grösstenteils auf das Einziehen der Drähte in isolierende Thon- oder Glasröhren hinausliefen.

In seinem Lehrbuche des Galvanismus und der Elektrochemie (Leipzig, 1829, S. 269) spricht Dr. Gustav Fechner, anknüpfend an die Versuche von Basse, über eine unterirdische Leitung, welche, »aus übersponnenen Drähten bestehend, ein nicht sehr kostspieliges Mittel zur Beförderung von Nachrichten abgeben würde.«

Der amerikanische Historienmaler, Professor Samuel Finley Breese Morse, der berühmte Erfinder des in der Praxis so vielfach angewendeten elektromagnetischen Telegraphen, schlug Ende September 1837 gleichzeitig Stangenleitungen durch die Luft und unterirdische Leitungen vor, welch letztere er in eisernen Röhren, unter Umständen aber auch in Bleiröhren, verlegen wollte.

In England wurden die ersten isolierten Fernleitungen von Wheatstone und Cooke thatsächlich in eiserne Röhren eingeschlossen und diese teils in die Erde eingegraben, teils auf niedrigen Pfosten über der Erde hingeführt. Der dabei verwendete Kupferdraht wurde mit Baumwolle umsponnen und sorgfältig gefirnisst. Aus ökonomischen Gründen, behufs vollkommenerer Isolierung und besserer Überwachung verliess man jedoch dieses System wieder und ging zum Bau von Luftleitungen über.

In den folgenden Jahren tauchten abermals Vorschläge für unterseeische Telegraphenleitungen auf. Die erste Leitung unter Wasser scheint Dr. O'Shaughenessy[1]) in Hindostan ausgeführt zu haben, welcher im Jahre 1839 in der Nähe von Calcutta eine 21 Meilen lange Versuchslinie und in dieser eine 7000 Fuss lange Flussleitung herstellte. Ferner strebte Wheatstone bereits 1840 beim englischen Unterhause die Versenkung eines Telegraphenseiles in den Kanal an, um Dover mit Calais telegraphisch zu verbinden, welcher Vorschlag allerdings erst in den Jahren 1850 und 1851 zur Ausführung gelangte, und im August 1843 wurde von Morse in einem Briefe an den Schatzsekretär der Vereinigten Staaten von Nord-Amerika die Herstellung einer unterseeischen Telegraphenleitung zwischen Amerika und Europa beantragt.[2])

Wenn auch der Bau von Telegraphenlinien bis zum Zeitpunkte der Erfindung Morse's sich schon nach und nach zu verbreiten begann, so geschah dies in weiterer Folge sowohl in Europa als auch in Amerika in unvergleichlich grösserem Masse. Zur allgemeinen Einführung des Telegraphen fehlte indes am europäischen Kontinente noch immer das Bedürfnis, wogegen die Telegraphie bei ihrer Verpflanzung nach England daselbst einen wesentlich günstigeren Boden fand. Von der im Jahre 1825 erfolgten Eröffnung der Eisenbahn zwischen Stockton und Darlington angefangen, entstanden in England bis zum Jahre 1843 über 300 Eisenbahnen in einer Gesamtlänge von etwa 450 deutschen Meilen; bei diesen Bahnen machte sich das Bedürfnis nach dem Telegraphen lebhaft fühlbar, und es wurden ausgedehnte Telegraphenlinien gebaut.

In Amerika wurden der Einführung des Telegraphen ebenfalls sehr vorteilhafte Verhältnisse geboten, obgleich dieselben von jenen in England ganz verschiedener Art waren.

---

[1]) Highton, Electric telegraph, S. 161.

[2]) Delamarche, Elemente der unterseeischen Telegraphie, übersetzt von C. Wiechelmann; Berlin 1859, S. 68. — Vergl. auch L. Förster's »Allgemeine Bauzeitung«, 13. Jahrg., S. 235 (Geschichte der elektrischen Telegraphen).

Es bildeten sich in Amerika inmitten grosser Landstriche, welche teils schwach, teils beinahe gar nicht bewohnt waren, dicht bevölkerte Mittelpunkte, die infolge der grossen Entfernungen von einander und der noch sehr mangelhaften Entwickelung der Verkehrsmittel das dringende Bedürfnis zur raschen Beförderung von Nachrichten geschäftlichen und privaten Inhaltes zu fühlen begannen. — Kaum war daher Morse's Erfindung, einigen Erfolg verheissend, in die Öffentlichkeit gedrungen, als sich im Jahre 1843 auch der Kongress schon bereit fand, zur Erbauung von Telegraphenlinien eine namhafte Summe zu bewilligen.

Bis zum Jahre 1845 wuchs die Länge der amerikanischen Telegraphenleitungen auf 194 und bis zum Jahre 1852 bis auf 260 deutsche Meilen.

Auch die übrigen Länder begannen alsbald die Anlage von Telegraphenlinien, welche teils oberirdisch, teils unterirdisch geführt wurden.

Bei der Anlage von unterirdischen Leitungen jedoch wurden, als die Telegraphie noch in den Kinderschuhen war, viele schlechte Erfahrungen gemacht, und diese bildeten die Ursache, dass man sich sowohl in Amerika als auch in Europa in weiterer Folge fast ausschliesslich für oberirdische Leitungen entschied, obwohl es durchaus nicht verkannt wurde, dass unterirdische Leitungen sehr viele Vorteile zu bieten im Stande sind. Ungeachtet dieser Vorteile hat doch die Leitung der Drähte unter der Erde noch lange Zeit nicht zur Anerkennung gelangen können. Wenn auch die verschiedenen Isolierungsmethoden schon einigermassen der heutigen Fabrikationsweise ähnlich waren, so waren sie alle noch sehr mangelhaft, und erst später lernte man in der Guttapercha einen Rohstoff kennen, welcher sowohl bei unterirdischen als auch bei unterseeischen Leitungen allen Anforderungen völlig entsprach.

Die Guttapercha, deren isolierende Eigenschaften auch Professor Mich. Faraday in England untersuchte, kam in der Londoner Royal Society Dr. C. William Siemens zu einer Zeit in die Hände, in der sich sein Bruder, der damalige Artillerielieutenant in Deutschland, Werner Siemens mit der Herstellung unterirdischer Leitungen befasste. William Siemens schickte, den Wert der Guttapercha für derartige Zwecke erkennend, im Herbste des Jahres 1846 seinem Bruder eine grössere Probe dieses Materials zu, mit welcher Werner Siemens auch sofort eine Reihe gelungener Vorversuche unternahm, worauf er der Kommission zur Vorbereitung der Telegraphenanlagen in Preussen die Guttapercha als Isolator für unterirdische Leitungen vorschlug. Die Kommission verstand die grossen Vorzüge

unterirdischer Leitungen zu würdigen und erteilte Siemens den Auftrag, noch im Sommer 1847 zwei durch Guttapercha isolierte Drähte von je einer halben Meile Länge von Berlin aus entlang der Anhalter Eisenbahn als Versuchsleitung zu legen.

Zu diesem Zwecke umpresste Siemens den Kupferdraht mit Streifen aus reiner und gut entwässerter, erweichter Guttapercha mittels gekehlter Walzen und suchte zunächst die vorhandenen Isolationsfehler mittels eines Induktionsapparates auf. Bei dieser Fabrikationsmethode stellte sich jedoch bald heraus, dass die Walznähte der Guttapercha sich mit der Zeit lösten und undicht wurden, wodurch die Anwendung der Guttapercha in Frage gestellt wurde. Zur Beseitigung dieses Übelstandes entwarf Siemens noch im Jahre 1847 eine Schraubenpresse, durch welche die erwärmte Guttapercha unter Anwendung hohen Druckes ohne Naht um den Kupferdraht gepresst wurde.

Im Frühjahr des Jahres 1848 wurde die erste längere unterirdische Leitung von Berlin bis Grossbeeren mit derartig isolierten Drähten von Siemens gelegt, nach deren Vollendung sich das Handelsministerium infolge der günstigen Ergebnisse mit den neuen Guttaperchadrähten entschloss, alle noch zu erbauenden Linien unterirdisch zu legen. Die Drähte für diese Linien wurden unter Siemens' Oberleitung von der Kautschuk- und Guttaperchawarenfabrik von Fonrobert & Pruckner in Berlin erzeugt. Die mit Guttapercha umpressten Leitungen sollten wie die von Berlin nach Grossbeeren gelegte Linie ohne äusseren Schutz in einen 1.5 Fuss tiefen Graben auf dem Eisenbahndamme verlegt werden, da der von Siemens vorgeschlagene Schutz der Leitungen durch Umhüllung derselben mit Eisendrähten, Eisenröhren oder Thonrinnen wegen zu grosser Kostspieligkeit nicht bewilligt wurde. Siemens musste sich darauf beschränken, für möglichst gute Guttapercha-Isolierung der Leitungen Sorge zu tragen, was aber insofern grosse Schwierigkeiten machte, als durch den plötzlich eintretenden grossen Bedarf von Guttapercha die gut isolierende Qualität derselben dem Markte bald entzogen wurde. Die drohenden politischen Zeitverhältnisse aber verlangten einen schnellen Fortschritt der Arbeiten und verleiteten zu einer Überhastung, welche keine Zeit zur Ausbildung der Fabrikation der Drähte liess, und man beschloss, die kurz vorher in England erfundene Vulkanisierung der Guttapercha, d. h. ihre innige Mischung mit Schwefel, in Anwendung zu bringen, wodurch auch bei schlechterer Qualität der Guttapercha sowohl die Isolierung als auch die Widerstandsfähigkeit der Leitungen gegen äussere Beschädigungen erhöht wurde.

Bei diesem Verfahren beging man aber leider einen Fehlgriff, welcher nicht nur zum grossen Nachteile der Anlage selbst beitrug, sondern auch in Preussen bald zur Verwerfung der unterirdischen Leitungen führte. Auch die anfangs beschlossene, aber durchaus nicht überall erreichte Tiefe der Einbettung von 1.5 Fuss war zu gering bemessen, da die in dem meist losen Sande der Eisenbahndämme liegenden Leitungen leicht durch Arbeiter und stellenweise auch durch Ratten, Mäuse und Maulwürfe beschädigt wurden. Die Ursachen, welche das Misslingen dieses Unternehmens bewirkt haben, hatten ihren Grund nicht in dem angewandten Systeme, sondern nur in einer mangelhaften Ausführung desselben.

Durch die gemachten Erfahrungen abgeschreckt, verliess man in Preussen, wo im Herbste des Jahres 1850 bereits gegen 400 deutsche Meilen unterirdischer Leitungen im Betriebe standen, dieses System und ging zur oberirdischen Leitung über.

In Sachsen bestanden unterirdische Leitungen zwischen Dresden und Bodenbach (1850—1852), zwischen Leipzig und Hof (1850—1852) und zwischen Dresden und Leipzig (1850—1854). Auch in Österreich hatte man im Vertrauen auf die anfangs günstigen preussischen Erfahrungen zu Ende des Jahres 1848 den oberirdischen Leitungen die unterirdischen vorgezogen. Am Schlusse des Jahres 1850 waren in Österreich gegen 160 Meilen unterirdischer Leitungen im Betriebe, die jedoch Ende 1852 ziemlich vollständig wieder beseitigt waren. Am Ende des Jahres 1851 waren im lombardisch-venetianischen Königreiche 105 Meilen, in Österreich-Ungarn 85 Meilen in Verwendung. Auch in Russland wurde im Jahre 1852 eine unterirdische Leitung nach preussischem Muster von Petersburg bis Moskau gelegt. Ebenso wie in Preussen und Österreich erfreuten sich die unterirdischen Linien in allen andern Staaten keiner langen Lebensdauer, da sich infolge der mangelhaften Isolation die Betriebsverhältnisse fortwährend verschlechterten.

In England begann man 1848 mit dem Bau unterirdischer Leitungen. 1849 verlegte man unter den Strassen Londons 1.65 *mm* dicke Eisendrähte. Je drei von einander isolierte Drähte erhielten eine gemeinsame Kautschukhülle.

1853 begann die Magnetic Company Untergrundleitungen in grösserem Masstabe auszuführen und verband London mit Manchester durch ein 320 *km* langes Kabel. Dasselbe wurde längs der Chausseen verlegt und bestand aus zehn Kupferdrähten von 1.65 *mm* Dicke, die in zwei parallelen Reihen angeordnet und mit Guttapercha isoliert waren. — Zum Schutze dienten rinnenartig ausgehöhlte Holzstämme, die nach Verlegung des Kabels mit aufgenagelten Holzdeckeln ver-

schlossen und in 6 *cm* tiefe Gräben versenkt wurden. Die Arbeit war noch lange nicht vollendet, als sich schon nach und nach immer mehr Fehler bemerkbar machten, so dass bald Stück für Stück der Kabelleitung gegen oberirdische Anlagen ausgewechselt werden musste.

In Dänemark wurde die erste unterirdische Linie zwischen Helsingör und Hamburg im Jahre 1853, also zu einer Zeit gelegt, wo die in Deutschland gemachten Erfahrungen schon allseits bekannt waren, und obwohl die Ausführung dieser Linie mit ganz ausserordentlicher Sorgfalt bewerkstelligt wurde, musste dieselbe nichtsdestoweniger schon im Jahre 1854 ausser Betrieb gesetzt werden.

In der nun folgenden Zeitepoche beschäftigten sich die Telegraphentechniker hauptsächlich mit der Vervollkommnung der oberirdischen Leitungen; aber die Notwendigkeit der Herstellung elektrischer Verbindungen unter Wasser, deren Entwickelung in Kürze gelegentlich der Besprechung der Seekabel behandelt wird, führte bald zur technischen Lösung der Aufgabe, und nachdem die durch Flüsse, Seen und Meere gelegten Leitungen dauernden Erfolg erwiesen hatten und ein weitverzweigtes Netz von Verbindungen dieser Art entstanden war, schritt man auch wieder zur Herstellung unterirdischer Telegraphen-Kabel, welche nunmehr den an sie gestellten Auforderungen auch vollkommen entsprachen.

Durch das viele Jahre lange Studium der Erzeugung von Telegraphen-Kabeln hatten die Techniker eine grosse Reihe von wichtigen Erfahrungen gesammelt und diese Industrie auf eine so hohe Stufe gebracht, dass sich der Weiterentwickelung derselben innerhalb der beiden letzten Dezennien, in welchen die Starkstromtechnik bahnbrechende Erfolge errungen hatte, nur mehr geringe Schwierigkeiten entgegenstellten. Man lernte bald die richtige Dimensionierung des Leiters, die richtige Wahl des Isolationsmateriales und die richtige Konstruktion der Schutzhülle kennen und wurde so bei ökonomischer Ausnutzung des Materiales in den Stand gesetzt, Ströme von enormen Intensitäten und Spannungen durch Kabel zu führen, ohne hierbei für die persönliche Sicherheit oder für die Sicherheit der Kabel fürchten zu müssen.

Bald nachdem die Starkstromtechnik in der Industrie zu einem bedeutenderen Aufschwunge gelangt war, begann sich das Fernsprechwesen rasch zu entwickeln; die bestehenden oberirdischen Telegraphenleitungen erhielten durch die hinzukommenden Telephonleitungen, namentlich in grossen Städten, einen derartigen Zuwachs, dass man sich bald mit dem Gedanken vertraut machen musste, die unzähligen urbanen Telephonleitungen ebenfalls unterirdisch

zu verlegen. Hierdurch wurde aber die Kabeltechnik abermals vor die Lösung einer neuen Aufgabe gestellt; denn teils waren es die vielen in einem einzigen Kabel zu vereinigenden Leitungen, deren Gesamtquerschnitt möglichst gering sein sollte, damit das Kabel nicht allzu voluminös würde, teils war es die Kapazität der Leitungen, welche sich, wie auch bei den langen unterseeischen Telegraphenkabeln, beim Sprechen auf langen Telephonkabeln sehr unangenehm bemerkbar machte und auf ein möglichst geringes Mass reduziert werden musste. Eine Reihe von Versuchen führte in verhältnismässig kurzer Zeit zur Erkenntnis aller jener Bedingungen, welchen entsprochen werden muss, um den an ein gutes Telephonkabel gestellten Anforderungen ebenso, wie dies bei den Telegraphen- und Starkstromkabeln erreicht wurde, in jeder Beziehung gerecht zu werden, und heute, wo die Kabeltechnik eine nie geahnte Höhe ihrer Entwickelung erreicht hat, ist man im Stande, sowohl die äusserst zarten Stromimpulse der Telephonströme, als auch die Brand und Tod bringenden Starkströme mit gleicher Sicherheit durch ihre engeu Bahnen zu lenken.

Bei dem heutigen Stande der elektrischen Anlagen aller Art wäre es unmöglich, einen genauen Nachweis aller bestehenden Kabelanlagen zu erbringen, und es soll hier nur der bedeutendsten, und zwar der weite Meere durchziehenden Seekabel sowie der für die Legung dieser Kabel ausschliesslich konstruierten Fahrzeuge, gedacht werden.

In dem vom « Bureau International des Administrations Télégraphiques » herausgegebenen Verzeichnisse der unterseeischen Telegraphenkabel der Welt nach dem Stande vom Oktober 1894 sind sämtliche bestehenden Telegraphenkabel aufgenommen worden, mit Ausnahme einzelner Inlandkabel, welche nur kleine Gewässer durchschreiten. In nachstehender Tabelle[1]) sind die Kabel der einzelnen Länder und Gesellschaften zusammengestellt. Von den im Betriebe befindlichen submarinen Kabeln sind die ältesten: das französisch-englische 4-adrige Kabel Sangatte-St. Margaret's Bay, welches im Jahre 1851 verlegt wurde, das englisch-belgische 6-adrige Kabel Middelkerke-Ramsgate (1853), das russische 3-adrige Kabel Oranienburg-Kronstadt (1853), das deutsche 3-adrige Kabel Stralsund-Dänholm und das österreichische 6-adrige Omblakabel (1854). Diese Kabel befinden sich jetzt somit mehr als 40 Jahre nach ihrer Verlegung in betriebsfähigem Zustande. —

Das längste aller Seekabel ist das im Jahre 1869 verlegte Brest-St. Pierre-Kabel, welches 5033 *km* misst.

---

[1]) Welche der Elektrotechnischen Zeitschrift, Berlin 1895, S. 87, entnommen ist.

Staatliche Kabel.

	Zahl d. Kabel	Kilometerlänge d. Kabel	Kilometerlänge d. Leitg.
Grossbritannien	135	3 294	11 037
Britisch-Indien (Indo-Europ. Dep.)	4	3 183	3 183
Britisch-Indien (General-Telegr. Dir.)	107	440	445
Frankreich	54	8 530	9 393
Deutschland	54	3 802	7 008
Spanien	15	3 219	3 219
Italien	39	1 970	2 091
Cochinchina und Tonkin	2	1 472	1 472
Niederländisch-Indien	5	1 437	1 437
Dänemark	60	390	1 064
Griechenland	47	840	840
Europ. und asiat. Türkei	23	638	677
Japan	34	497	615
Neuseeland	3	364	528
Belgien	2	101	517
Norwegen	264	484	484
Europ. und kaukas. Russland	8	394	438
Bahama-Inseln	1	394	394
Britisch-Amerika	1	370	370
Schweden	14	177	318
China	2	304	304
Queensland	13	293	293
Argentinische Republik	13	111	257
Österreich	35	227	240
Portugal	4	213	213
Niederlande	20	113	151
Asiatisches Russland	1	130	130
Central-Australien	5	92	92
Brasilien	21	61	80
Neu-Südwales	4	40	40
Schweiz	2	18	25
Senegal	1	5	6
Neu-Caledonien	1	2	2
Zusammen	994	33 605	47 363

Privat-Kabel.

	Zahl d. Kabel	Kilometerlänge d. Kabel	Kilometerlänge d. Leitg.
Direct Spanish Telegraph Company	4	1 316	1 316
India Rubber, Gutta-Percha and Telegraph Works Company	3	270	270
Schwarze Meer-Telegraphen-Gesellschaft	1	625	625
Indo-Europäische Telegraphen-Gesellschaft	2	27	93
Grosse Nordische Telegraphen-Compagnie	24	12 905	13 327

	Zahl d. Kabel	Kilometerlänge d. Kabel	d. Leitg.
Eastern Telegraph Company	79	47 309	47 322
Eastern and South African Telegraph Company	13	16 384	16 384
Eastern Extension Austral-Asia and China Telegraph Company	27	32 239	32 239
The Europe and Azores Telegraph Company	2	1950	1950
Anglo-American Telegraph Company	15	22 765	23 873
Direct United States Cable Company	2	5 740	5 740
Compagnie française du télégraphe de Paris à New-York	4	6 561	6 561
Western Union Telegraph Company	12	13 598	13 598
The Commercial Cable Company	7	16 797	18 352
Halifax and Bermudas Cable Company	1	1 574	1 574
Brazilian Submarine Telegraph Company	6	13 658	13 658
South American Cable Company	2	3 795	3 795
African Direct Telegraph Company	8	5 096	5 096
West African Telegraph Company	12	5 661	5 661
Cuba Submarine Telegraph Company	4	1 943	1 943
West India and Panama Telegraph Company	22	8 440	8 440
Société française des télégraphes sous-marins	15	8 421	8 421
Western and Brazilian Telegraph Company	16	11 397	11 397
River Plate Telegraph Company	1	59	119
Mexican Telegraph Company	3	2 831	2 831
Central and South American Telegraph Company	15	13 891	13 891
West Coast of America Telegraph Company	8	3 641	3 641
Compañia telegrafico-telefonica del Plata	1	52	104
Compañia telegrafica del Rio de la Plata	1	52	52
Zusammen	310	258 999	262 273
Hierzu staatliche Kabel	994	33 605	47 363
Gesamtsumme der submarinen Kabel	1 304	292 604	309 636

Die Fahrzeuge, welche ausschliesslich für submarine Kabellegungen, Fehlerbeseitigung, Depeschen-Notbeförderung und dgl. bestimmt sind, bilden eine Dampfflotille von 40 Schiffen mit zusammen 61 844 Registertonnen Ladegehalt und 9 333 PS, welche nach den Ausweisen des von « The Electrician » herausgegebenen Electrical Trades Directory and Handbook vom Jahre 1896 auf folgende Schiffseigentümer verteilt sind:

Schiffs-Eigentümer (Staatsanstalten, private Telegraph.- und Telephon-Gesellschaften, Telegraphenbau-Unternehmungen)	Name des Schiffes	Ladegehalt in Schiffstonnen à 100 Kbk. Fuss engl. = 28.32 m³	Effektive Pferdestärke	Stationshafen
Amazon-Telegraph Company .	Wiking	436	60	Para
Anglo-American Telegraph Company	Minia	1 986	5 0	Halifax
Britische Regierung	Monarch . . .	1 121	1 040	Woolwich
» »	Alert	369	350	Dover
Canadische Regierung	Newfield . . .	785	90	Halifax
Central and South American Telegraph Company . . .	Relay	1 200	180	Callao
Commercial-Cable-Company . .	Mackay-Benett .	1 718	300	Halifax
Compagnie française des Cables télégraphiques	Pouyer-Quertier .	1 385	160	Brest
Chinesische Regierung . . .	Fee-Cheû . . .	1 034	150	?
Eastern Telegraph Company .	Amber	1 034	250	London
» » » .	Electra	1 219	200	London
» » » .	John Pendler . .	1 213	98	Sierra Leone
» » » .	Mirror	1 545	250	Gibraltar
» » » .	Chiltern	1 372	200	Aden
Eastern and South African Telegraph Company . . .	Great Northern .	1 422	150	Cape Town
Eastern and South African Telegraph Company . . .	Duplex	874	123	London
Eastern Extension - Austral Asia and China Telegraph Company	Recorder . . .	1 201	200	Singapore
Eastern Extension - Austral Asia and China Telegraph Company	Sherard Osborn .	1 429	200	Singapore
Französische Regierung . . .	Ampère	304	70	Brest
» » . . .	Charente . . .	547	120	La Sayne
Great Northern Telegraph Company	H. C. Oersted . .	749	120	Kopenhagen
Great Northern Telegraph Company	Store Nordiske .	832	120	Shanghai
India Rubber, Gutta Percha and Telegraph Works Company .	Buccaneer . . .	785	180	Silvertown
India Rubber, Gutta Percha and Telegraph Works Company .	Dacia	1 856	170	»
India Rubber, Gutta Percha and Telegraph Works Company .	International . .	1 381	110	»

Schiffs-Eigentümer (Staatsanstalten, private Telegraph.- und Telephon-Gesellschaften, Telegraphen bau-Unternehmungen)	Name des Schiffes	Ladegehalt in Schiffstonnen à 100 Kbk. Fuss engl. = 28.32 m³	Effektive Pferdestärke	Stationshafen
India Rubber, Gutta Percha and Telegraph Works Company .	Silvertown . . .	4 935	400	Silvertown
Indische Regierung	Patrik Stewart .	1 115	130	Karachi
Japanische Regierung	Okinawa Marû .	1 220	350	?
Pirelli & C°	Città di Milano .	1 220	220	Spezia
Siemens, Bros. & C° in London	Faraday	4 917	500	London
Soçiété industrielle d. Téléphones	François Arago .	3 191	300	Calais
Telegraph Construction and Maintenance Company . .	Britania	1 525	200	London
Telegraph Construction and Maintenance Company . .	Calabria	3 321	220	London
Telegraph Construction and Maintenance Company . .	Scotia	4 667	550	London
Telegraph Construction and Maintenance Company . .	Seine	3 553	500	London
Western and Brazilian Telegraph Company	Norseman Nr. 2 .	1 117	287	Bahia
Western and Brazilian Telegraph Company	Norseman Nr. 1 .	1 372	200	?
West Coast of America Telegraph Company	Retriever . . .	624	95	Callao
West India and Panama Telegraph Company	Duchess of Marlborough . .	402	80	Im Dienste auswärts in Westindien
West India aud Panama Telegraph Company	Grappler . . .	868	100	Im Dienste auswärts in Westindien

I. Teil.

Die Eigenschaften und die Fabrikation der isolierten elektrischen Leitungsdrähte und Kabel.

Allgemeines.

Wie bereits im historischen Überblick besprochen wurde, hat es vieler Jahre bedurft, um sich über die rationelle Fortleitung der Elektrizität auf grössere Entfernungen jene Erfahrungen zu sammeln, welche es endlich ermöglichten, Leitungsnetze herzustellen, die allen Anforderungen voll und ganz entsprachen. Eine der wichtigsten Forderungen, die man an eine gute Leitung stellen muss, ist, dass dieselbe die Möglichkeit bietet, den in sie eingeführten elektrischen Strom thunlichst ungeschwächt an den Ort seiner Verwendung zu bringen, und diese geforderte Eigenschaft war es auch, welche den langjährigen Kampf zwischen der oberirdischen und unterirdischen Leitung verschuldete.

Um den in eine Leitung gesendeten elektrischen Strom, ohne dass er wesentlich geschwächt wird, an den Ort seiner Verwendung führen zu können, muss diese Leitung möglichst gut von der Erde und von allen anderen die Elektrizität gut leitenden fremden Körpern isoliert werden. Während nun bei der oberirdischen, durch die Luft geführten Leitung nur die Isolation derjenigen Punkte zu bewirken ist, an welchen der Leitungsdraht mit den Stützpunkten in Berührung steht, muss bei der Herstellung einer elektrischen Verbindung unter der Erde, unter dem Wasser oder in unmittelbarer Nähe von fremden leitenden Körpern der Leitungsdraht seiner ganzen Länge nach mit einem isolierenden, d. i. mit einem die Elektrizität möglichst schlecht leitenden Körper umgeben, also an jedem einzelnen Punkte gegen Stromverlust geschützt werden.

Dies bedingt nicht nur den vollständig verschiedenen äusseren Bau der beiden Arten von Leitungen, sondern schliesst auch gleichzeitig Verhältnisse ein, welche für die Fortpflanzung der Elektrizität auf beiden Wegen derart bestimmend einwirken, dass beide von durchaus getrennten Gesichtspunkten betrachtet werden müssen.

Es ist hier nicht der Ort, die Konstruktion der oberirdischen, blanken Leitungen einer näheren Erörterung zu unterziehen; es soll

vielmehr nur von isolierten Leitungen die Rede sein und die Art und Weise der Isolierung von Drähten und Kabeln sowie deren elektrische Untersuchung besprochen und eingehender erläutert werden.

Bei der Isolierung von Drähten ist in erster Linie der Zweck, welchem die Drähte dienen, und der Ort, wo dieselben geführt werden sollen, in Betracht zu ziehen. Die Isolierung eines Drahtes muss eine verschiedene sein, je nachdem der Draht einen hoch oder niedrig gespannten Strom führen soll. Sie wird unter Umständen ganz andere Dimensionen annehmen können, wenn an dem Verhältnisse des Durchmessers des isolierten Drahtes zum Durchmesser des blanken Drahtes nicht viel gelegen ist; dagegen muss ihre Dicke auf ein Minimum reduziert werden, wenn auf den beschränkten Wickelungsraum einer gegebenen Apparatspule möglichst viel Draht aufgewickelt werden soll. Hinsichtlich des Zweckes einer isolierten Leitung sei vorläufig nur noch erwähnt, dass derselbe für die elektrischen Eigenschaften der Leitung eine wichtige Rolle spielt. Eine Leitung, welche der Telegraphie oder der Telephonie dienen soll, muss ganz andere elektrische Eigenschaften aufzuweisen haben, als eine Leitung für elektrisches Licht oder für galvanoplastische Zwecke. Da aber gewisse elektrische Eigenschaften auch mit dem Materiale, aus welchem die Isolierung hergestellt wird, in innigem Zusammenhange stehen, so ist es für die Wahl des Isoliermaterials und auch für die Dimensionierung der Isolierhülle nicht gleichgiltig, für welchen Zweck die herzustellende Leitung Verwendung finden soll.

Was die Örtlichkeit betrifft, in welcher die Leitung zu führen ist, sind vornehmlich die äusseren Einflüsse ins Auge zu fassen, welche die Art der Isolierung bedingen. Diese können nun chemischer, calorischer oder mechanischer Natur sein; für alle diese Verhältnisse müssen Isolierungen geschaffen werden. — So lange eine isolierte Leitung im Trockenen geführt wird, genügt eine ganz dünne, durch Gespinnstfaser hergestellte Schicht, vorausgesetzt, dass die Spannung des Stromes dies gestattet. Sobald der isolierte Draht aber der Feuchtigkeit ausgesetzt ist, genügt diese dünne, poröse Isolierschicht nicht mehr; er bedarf vielmehr zur Sicherung der Stromleitung einen Schutz gegen das Eindringen des Wassers in die Isolierung. Die durch Fasergespinnst hergestellte Isolierung enthält immer kleine Lufträume und Kanäle, welche wohl die Isolationsfähigkeit nicht schädigen, wenn der Draht im Trockenen untergebracht ist, aber bei einem der Feuchtigkeit ausgesetzten Drahte Anlass geben würden, dass die auf seiner Oberfläche angesammelte Feuchtigkeit infolge der Kapillarwirkung der feinen Risse und Spalten in die Isolation und an den Draht dringt. Durch

die Leitungsfähigkeit des Wassers wären aber damit Stromwege vom Drahte nach der Oberfläche seiner Isolierhülle und von da zur Erde geschaffen. Wenn man nun weiter in Erwägung zieht, dass diese Stromwege in der ganzen Länge des Drahtes vorhanden sind und dass dieselben sich im Laufe der Zeit durch die zerstörende Wirkung des Stromes noch beträchtlich erweitern, so gelangt man zur Einsicht, dass eine solche Isolierung bei einem der Feuchtigkeit ausgesetzten Drahte Stromverluste, Nebenschlüsse und Kurzschlüsse zur Folge hätte, wodurch der Zweck der Isolation als nicht erfüllt anzusehen wäre.

Unter diesen Umständen ist es daher geboten, gegen das Eindringen der Feuchtigkeit durch eine wasserdichte Isolierung Sorge zu tragen. Die Art und Weise der Herstellung einer solchen Isolierung hängt davon ab, in welchem Masse der Zutritt der Feuchtigkeit an den Draht möglich ist. An einer Zimmerwand z. B. schlägt sich auch Feuchtigkeit nieder, welche einen daselbst laufenden Draht beeinflussen kann; aber die Isolierung wird in diesem Falle doch eine ganz andere sein können, als wenn der Draht in der Erde oder direkt im Wasser läge.

Es kommt nun noch hinzu, dass chemische Einflüsse auftreten können, welche geeignet sind, die Isolierung zu zerstören, und welchen man dann nur entweder durch entsprechende Wahl des Isolationsmateriales, oder durch eine über der Isolierung angebrachte Schutzhülle begegnen kann.

Bei dem heutigen Standpunkte dieses Industriezweiges ist die Auswahl an Isolationsmaterialien schon so gross, dass man auch für den Fall gesichert ist, wenn eine isolierte Leitung vor Feuersgefahr geschützt werden soll. Es kann also bei der Wahl des Isolationsmaterials auch dieser Umstand Berücksichtigung finden.

Was die mechanischen Einwirkungen betrifft, denen die isolierten Leitungen ausgesetzt sind, so sind dieselben im allgemeinen zweierlei Art. Sie können entweder in der Richtung senkrecht auf die Achse der Leitung erfolgen, wenn dieselbe grossem Drucke, Stössen oder Schlägen ausgesetzt ist, oder sie erfolgen in der Richtung der Achse der Leitung, wenn dieselbe auf Zug beansprucht wird.

Legt man beispielsweise ein Kabel, möge es was immer für Zwecken dienen, in die Erde, so wird es schon beim Legen durch die Reibung auf spitzen Steinen und scharfem Sande nicht unbeträchtlich in Anspruch genommen; wird der Graben, in welchem sich das Kabel befindet, zugeschüttet und werden hierbei nicht ganz besondere Vorsichtsmassregeln in Anwendung gebracht, so ist es nicht zu vermeiden, dass abermals spitze Steine unter mehr oder weniger grossem Drucke auf das Kabel zu liegen kommen, die sich in die

Isolirhülle einzugraben trachten. Zu all dem kommen noch die Feuchtigkeit, die organischen Säuren des Erdbodens und verschiedene andere Umstände, welchen das Kabel widerstehen muss. Da heisst es dann, die Isolation noch weiter durch einen festen Panzer vor Schaden zu bewahren, und so muss denn der stromführende Leiter in manche Hüllen eingeschlossen werden, von denen jede die unter ihr liegende zu schützen hat.

In noch viel grösserem Masse aber werden oft isolierte Leitungen auf ihre absolute Festigkeit in Anspruch genommen, wie dies beispielsweise bei unterseeischen Kabeln, die in grosse Tiefen verlegt werden sollen, vorkommt. Der Widerstand, welchen solche Kabel dem Zerreissen entgegensetzen müssen, wird nach tausenden von Kilogrammen bemessen, und es ist leicht einzusehen, dass die Schutzhülle derartiger Kabel von ganz ausserordentlicher Qualität sein muss.

Aus dem oben Gesagten ist zu entnehmen, dass die Konstruktionselemente, das sind die Bestandteile der isolierten Leitungen, je nach dem Zwecke ihrer Verwendung verschiedene sein müssen.

In erster Linie ist unter ihnen der metallische Leiter hervorzuheben, welcher selbstverständlich bei jeder elektrischen Leitung vorhanden sein muss. Bei gewissen Leitungen kann derselbe bloss aus einem einzigen Drahte bestehen, vorausgesetzt, dass die Gefahr eines Bruches des metallischen Leiters unter normalen Verhältnissen keine grosse ist und dass in Bezug auf die Biegsamkeit oder Flexibilität der Leitung keine erheblichen Ansprüche gestellt werden. Im anderen Falle aber, wenn also die Leitung einen gewissen Grad von Flexibilität besitzen muss, wie dies bei Leitungsschnüren der Fall ist, ferner wenn die Leitung auf Zug beansprucht wird und die Gefahr des Reissens einzelner Drähte nicht ausgeschlossen ist, und endlich wenn die Leitung einen derart grossen Querschnitt besitzt, der die Anwendung eines einzelnen Drahtes unmöglich macht, ist man gezwungen, den metallischen Leiter aus mehreren Drähten herzustellen, welche in der Art eines Seiles zu einer sogenannten »Litze« vereinigt werden.

In zweiter Linie ist es die den metallischen Leiter umgebende Isolierhülle, welche einer näheren Betrachtung gewürdigt werden muss und welche, wie bereits erwähnt, durch die mannigfache Art der Verwendung der Leitungen bestimmt wird.

Die Schutzhülle der Leitung, auch Panzerung oder Armatur (Armierung) genannt, bildet das dritte Konstruktionselement der isolierten Leitung, dieselbe möge auf was immer für eine Art hergestellt sein.

Allerdings werden nicht alle isolierten Leitungen mit einer solchen Schutzhülle ausgerüstet; dieselbe wird nur bei Leitungen

für ganz bestimmte Zwecke notwendig. Besteht aber eine Leitung aus allen diesen drei Konstruktionselementen, so nennt man eine solche »ein Kabel.«

Vielfach wird der Begriff »Kabel« auch für isolierte Leitungen gebraucht, die nur aus zwei dieser Konstruktionselemente, nämlich aus Leiter und Isolierung, bestehen, deren metallischer Leiter jedoch aus mehreren zu einer Litze vereinigten Drähten zusammengesetzt ist, oder er wird auch für Leitungen gebraucht, welche aus mehreren isolierten Leitungsadern zusammengesetzt sind, ohne dass dieselben von einer gemeinschaftlichen Armatur umgeben wären. Diese verschiedenen Deutungen des Wortes »Kabel« führen in der elektrotechnischen Praxis häufig zu Missverständnissen, und während in England und Amerika der Begriff »Kabel« immer das Vorhandensein einer Schutzhülle involviert, wenn der metallische Leiter auch nur aus einem einzigen Drahte besteht, wird in Österreich und Deutschland unter einem Kabel stets eine zusammengesetzte Leitung verstanden, auch wenn sie keine Armatur besitzt.

Nachdem nun die von Kabeln geforderten mechanischen Eigenschaften und die Konstruktionselemente der Kabel in Kürze besprochen wurden, ist es zum besseren Verständnisse der Fabrikation unerlässlich, an dieser Stelle auch die elektrischen Eigenschaften der Kabel einer allgemeinen Erörterung zu unterziehen. [1])

Der metallische Leiter eines Kabels, auch Kabelader genannt, setzt dem Hindurchströmen der Elektrizität in der Richtung seiner Achse einen gewissen Widerstand, den elektrischen Leitungswiderstand, entgegen, welcher bekanntlich mit der Länge des Leiters in direktem Verhältnisse, mit dem Querschnitte des Leiters und der Leitungsfähigkeit des Materiales dagegen in indirektem Verhältnisse steht. Je grösser dieser Leitungswiderstand, desto geringer ist die Elektrizitätsmenge, welche der Leiter in einer bestimmten Zeit durch seinen Querschnitt zu befördern vermag.

Fliesst ein elektrischer Strom durch einen metallischen Leiter, so leistet er eine bestimmte Arbeit, welche sich teils durch elektromagnetische, teils durch Wärmewirkungen äussert; es wird nämlich ein Teil der vom Strome geleisteten Gesamtarbeit in Wärme umgesetzt. Da sich aber nach einem physikalischen Gesetze bei gleichen Stromstärken die entwickelten Wärmemengen wie die Widerstände der vom Strome durchflossenen Leiter verhalten, so geht daraus hervor, dass derjenige Strom, welcher beim Durchfliessen eines Leiters daselbst einen grösseren Leitungswiderstand vorfindet, den Leiter mehr erwärmen muss, als ein gleicher Strom, der einen

[1]) Näheres hierüber befindet sich im III. Teile d. B.

geringeren Widerstand zu überwinden hat. Diese Erwärmung des Stromleiters bedeutet aber, wenn sie in einer Kabelader auftritt, immer einen zwecklosen Verlust an Stromarbeit und kann sich so weit steigern, dass hierdurch die Isolierung der Ader Schaden leiden kann. Um sonach den elektrischen Strom ohne Arbeitsverlust an den Ort seiner Bestimmung zu führen, oder bei kräftigen Strömen Feuersgefahr zu verhindern, muss der metallische Leiter derart dimensioniert werden, dass seine Erwärmung ein angenommenes Maximum nicht übersteigt. — Wenn man nun schliesslich bedenkt, dass die Länge des Leiters bei einer Kabelanlage immer eine gegebene Grösse ist, so kommt man zu dem Schlusse, dass der Widerstand der Kabelader nur durch entsprechende Bemessung ihres Querschnittes und die Wahl des Leitungsmaterials variiert werden kann. Der metallische Leiter isolierter Leitungsmaterialien besteht jedoch, mit Ausnahme gewisser Widerstandsdrähte, stets aus Kupfer, und man hat es daher bei der Fabrikation isolierter elektrischer Leitungen in der Regel mit dem Leitungswiderstande des Kupfers zu thun.

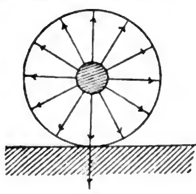
Allein nicht nur der Leitungsdraht, sondern auch die isolierende Hülle leitet die Elektrizität, wenn auch nur in mehr oder weniger geringem Masse, möge sie nun aus Gummi, Guttapercha oder sonstigen gebräuchlichen Isoliermitteln bestehen.

Findet man bei einem solchen Isolator, dass er bei Anwendung der kräftigsten Stromquellen und der empfindlichsten Instrumente keinen wahrnehmbaren Strom durchlässt, so ist damit durchaus nicht der Beweis erbracht, dass dieser Isolator die Elektrizität nicht leitet; es ist dies vielmehr nur ein Zeichen, dass die zu Gebote stehenden Mittel zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit dieses Isolators nicht mehr ausreichen. Würde man noch kräftigere Stromquellen bezw. noch empfindlichere Instrumente verwenden, so müsste sich ohne Zweifel einmal ein Stromdurchgang beobachten lassen.

Aus diesem Grunde ist man zur Anschauung gelangt, dass es einen absoluten Isolator überhaupt nicht giebt, sondern dass jeder Isolator eine gewisse, wenn auch noch so geringe Leitungsfähigkeit besitzt, die sich jedoch nicht immer nachweisen lässt, da die Leistungsfähigkeit der Hilfsmittel zur Ausführung elektrischer Untersuchungen eine begrenzte ist. Es leiten also auch sämtliche zur Kabelfabrikation verwendeten Isolatoren in geringem Masse die Elektrizität und zwar nicht nur in der Richtung des das Kabel durchfliessenden Stromes, sondern auch senkrecht darauf, gegen die äussere Peripherie der Isolierhülle; und wenn die Elektrizität daselbst eine weitere leitende Verbindung mit der Erde findet, so wird sie gegen dieselbe abströmen und geht für jene Zwecke, für welche sie eigentlich bestimmt ist, verloren.

In Fig. 1 ist der Querschnitt einer isolierten, auf der Erde liegenden Leitung skizziert. Der innere Kreis stellt den Leiter vor, durch welchen der elektrische Strom in der Richtung senkrecht auf die Bildfläche hindurchgesendet wird. Der äussere Kreis bezeichnet die Oberfläche der stets mehr oder weniger mit Feuchtigkeit beschlagenen Isolierhülle, durch welche ein geringer Teil des durch den Leiter fliessenden Stromes in der Richtung der Pfeile hindurch geht und, daselbst angelangt, die gut leitende Feuchtigkeit vorfindet und zur Erde abfliesst. Der Widerstand, welchen die Isolierhülle jenem in der Richtung der Pfeile durch sie hindurchfliessenden Strome entgegensetzt, wird der Isolationswiderstand genannt. Je grösser dieser Isolationswiderstand, desto besser ist das Kabel gegen Stromverluste geschützt.

Eine weitere Betrachtung führt zu dem Schlusse, dass das Kabel nicht nur als Leiter, sondern auch als Kondensator von der Form einer langgestreckten Leydner Flasche betrachtet werden muss. Die Oberfläche des Kupferleiters bildet die eine Belegung, die Isolierhülle des Kabels das Dielektrikum, und die leitende Schicht an der Oberfläche des Kabels oder auch eine eventuell vorhandene metallische Schutzhülle bilden die zweite Belegung dieses Kondensators. Als Kondensator besitzt daher jedes Kabel eine gewisse Ladungs-Kapazität, und diese kommt namentlich bei Telegraphen- und Telephonkabeln sehr in Betracht.


Fig. 1.

Auch ein in der Luft ausgespannter Telegraphendraht ist ein Kondensator, denn auch er nimmt eine gewisse, wohl sehr geringe Ladung an und besitzt daher auch eine gewisse Kapazität. Hier bildet die Oberfläche des Telegraphendrahtes die eine Belegung, die umgebende Luft das Dielektrikum und die Oberfläche der Erde, sowie überhaupt aller den Draht umgebenden Leiter, die zweite Belegung des Kondensators. Da die hier auftretenden Ladungen nur sehr gering sind, so machen sie sich nur bei sehr langen Leitungen einigermassen bemerkbar.

Die Ladung eines Kabels, in welches am einen Ende ein Strom entsendet wird, ist natürlicher Weise am grössten, wenn das andere Ende desselben isoliert ist. Aber auch wenn dasselbe mit der Erde oder mit dem zweiten Pole der Stromquelle verbunden wird, nimmt es eine gewisse Ladung auf. Es wird daher stets ein Teil der in das Kabel gesendeten Elektrizität für die Ladung des Kabels nötig, und diese Elektrizität gelangt ebenfalls nicht an den Ort ihrer Be-

stimmung, sondern verharrt bei einer Stromunterbrechung, so lange an der Oberfläche des Leiters in Ruhe, bis die Umstände welche die Ladung bedingten, sich wieder ändern.

Diese elektrischen Rückstände verursachen aber bei langen Telegraphen- oder Telephonkabeln bei der Entsendung der elektrischen Stromimpulse Verzögerungen, welche sowohl die Deutlichkeit der Zeichen in den Empfangsstationen langer Telegraphenkabel-Linien, als auch die Klarheit der Sprache in längeren Telephonkabeln erheblich beeinflussen. Aus diesem Grunde muss die Ladungskapazität von Telegraphen- oder Telephonkabeln auf ein möglichst geringes Mass beschränkt werden.

Infolge der verhältnismässig grossen Kapazität der Kabel sind die elektrischen Erscheinungen daselbst ganz andere als jene, wie sie in den nahezu kapazitätslosen blanken Luftleitungen auftreten.

Diese vorausgegangene Betrachtung führt zur Erkenntnis, dass man es bei der Kabelfabrikation mit drei wichtigen elektrischen Konstanten und zwar dem Leitungswiderstande, dem Isolationswiderstande und der Kapazität zu thun hat, deren Grösse für die Qualität des Kabels von sehr grosser Bedeutung ist und welche Konstanten daher bei der Konstruktion der Kabel vor allem anderen in Betracht gezogen werden müssen.

I.

Der metallische Leiter.

Das Material für den Leiter wird schon durch den Wert des Isolationsmateriales, welches den Leitungsdraht in einer bestimmten Stärke umgeben muss, um Stromverluste zu verhindern, bestimmt. Um das Isolationsmaterial möglichst ökonomisch verwenden zu können, bedarf es eines möglichst kleinen Querschnittes des Leiters; da aber der Querschnitt des Leiters im innigen Zusammenhange mit der Leitungsfähigkeit des Materiales steht, so muss in allen jenen Fällen, in welchen der elektrische Strom nicht einen absichtlich eingeschalteten hohen Widerstand vorfinden soll, ein möglichst leitungsfähiges und dabei nicht allzu kostspieliges Metall verwendet werden, und das ist das Kupfer.

Das zu elektrischen Leitungen verwendete Kupfer muss ein möglichst chemisch reines sein. Beimengungen von fremden Metallen von Phosphor oder von Schwefel beeinträchtigen seine Leitungsfähigkeit erheblich. Nur die besten Kupfersorten eignen sich daher für die Herstellung von Drähten für isolierte Leitungen.

Das spezifische Gewicht des Kupfers ist von der Bearbeitung des Kupfers abhängig und kann wie folgt angenommen werden:

Kupfer gegossen	8,80—8,90
» gehämmert	8,85—8.96
» elektrolyt	8,884—8,952
Kupferdraht hart gezogen	8,96
» ausgeglüht	8,86—8,91

Die im Handel vorkommenden Elektrolyt-Kupferdrähte, welche zur Fabrikation isolierter Leitungen verwendet werden, zeigen in ihren spezifischen Gewichten Abweichungen, welche[1]) innerhalb der Grenzen von 8,889—8,910 schwanken. Bei den vorkommenden Gewichtskalkulationen kann man das spezifische Gewicht des Kupfers der Einfachheit halber rund mit 8,90 annehmen.

Es ist hier nicht der Ort, die Herstellungsweise der Kupferdrähte näher zu besprechen, und sei nur erwähnt, dass die aus elektrolytisch gewonnenem Kupfer gezogenen Drähte gut geglüht sein müssen, damit sie gleichmässig weich und leicht biegsam sind. Dabei sollen sie eine genügende absolute Festigkeit und bis zu einer gewissen Grenze auch Dehnbarkeit besitzen. Der Querschnitt des Drahtes muss an allen Stellen gleich gross und kreisrund sein. Bei Drähten von 0,6 *mm* Durchmesser aufwärts können Differenzen der Grösse des Durchmessers bis zu dem Maximum von 0,05 *mm* toleriert werden, bei feinen Drähten dagegen werden viel grössere Anforderungen gestellt. Drähte von 0,06 bis 0,1 *mm* Durchmesser, welche ausschliesslich zur Wickelung von Widerstandsspulen verwendet und dabei sehr in Anspruch genommen werden, müssen besonders weich sein; sie sollen eine Dehnbarkeit von 25 bis 30% besitzen, und ihr Durchmesser darf an verschiedenen Stellen nicht um das geringste differieren, da hierdurch der Querschnitt des Drahtes gleich beträchtlich verschieden werden würde, was wieder eine wesentliche Änderung des elektrischen Widerstandes zur Folge haben müsste.

Die elektrischen Eigenschaften der Kupferdrähte werden gelegentlich der Besprechung der elektrischen Erscheinungen in Kabeln eingehend behandelt werden, aus welchem Abschnitte deutlich hervorgeht, dass man bei der Wahl der Kupfersorten sowie bei der Herstellung der Leiter nicht vorsichtig genug sein kann, nachdem es bei den verschiedenen Manipulationen während der Fabrikation ohnehin nicht zu vermeiden ist, dass sich kleine Fehler einschleichen, und Fehler in der Leitungsfähigkeit müssen unter allen Umständen auf ein Minimum reduziert werden.

---

[1]) Nach Untersuchungen des Verfassers.

Wie bereits erwähnt wurde, ist man in vielen Fällen genötigt, den erforderlichen Querschnitt der Kupferleitung durch Vereinigung mehrerer Drähte zu einer Litze herzustellen. Die Anfertigung solcher Litzen lässt nun die verschiedenartigsten Kombinationen zu. Wenn es sich um die Verseilung isolierter Adern handelt, deren Anzahl gewöhnlich gegeben ist, so muss man oft zu allen möglicben Hilfsmitteln greifen, um ein rundes Seil von mögtichst geringem Querschnitte zu erhalten. Bei der Verseilung blanker Drähte ist in erster Linie der erforderliche Kupferquerschnitt massgebend, wobei jedoch stets die Dicke und die Anzahl der Drähte so zu wählen ist, dass im Inneren und an der Peripherie der Litze nicht zu grosse Hohlräume entstehen, dass also durch gute Ausnutzung des Raumes der Gesamtquerschnitt der Kupferlitze möglichst klein ausfällt. Die Beschränkung des Gesamtquerschnittes auf ein thunlichst geringes Mass ist deshalb geboten, weil mit der Grösse desselben auch das Quantum der für die Isolierung verwendeten Materialien sowie das Gewicht der Leitung und schliesslich auch der Preis derselben wächst.

Im allgemeinen sollen die mit einander zu verseilenden Drähte gleichen Durchmesser haben, und die Anzahl der in jeder Lage befindlichen Drähte muss derart gewählt werden, dass die Grundform des Gesamtquerschnittes stets einen Kreis bildet, was nur dann zu erreichen ist, wenn die Mittelpunkte der Querschnitte sämtlicher Drähte je einer Lage in der Peripherie eines Kreises liegen. Schliesslich muss die Windungsrichtung jeder folgenden Drahtlage der vorhergehenden entgegengesetzt sein.

Bei der Art der Verseilung kann man zwei Grundtypen unterscheiden und zwar:

1) die einfache Verseilung, welche aus lauter konzentrisch übereinander gelagerten Drahtschichten besteht, und

2) die kombinierte Verseilung, welche aus mehreren mit einander verseilten Drahtlitzen hergestellt wird.

Jede dieser beiden Grundtypen zerfällt wieder in zwei Unterabtheilungen, nämlich:

a) die Verseilung ohne Seele, bei welcher die Achse der Litze in einem Hohlraum liegt,

b) die Verseilung mit Seele, bei welcher die Achse der Litze durch einen gerade hindurchlaufenden Draht (die Seele) gebildet wird.

Bei der einfachen Verseilung ohne Seele werden mehrere Drähte gleichen Durchmessers zusammengedreht, so dass in ihrer Mitte ein kleiner Hohlraum übrig bleibt. — Das einfachste Seil ohne Seele ist das dreifache (Fig. 2).

Über dieses Seil können zur Vergrösserung seines Querschnittes

noch weitere Drahtlagen gewunden werden, deren Windungsrichtungen einander stets entgegengesetzt sein müssen und deren Drahtanzahlen so zu wählen sind, dass jede Lage die vorhergehende vollkommen geschlossen umgiebt. Denkt man sich durch die Mittelpunkte der Drähte der ersten Lage einen Kreis gelegt (Fig. 3), dessen Durchmesser mit D bezeichnet werden soll, so ist der Umfang dieses Kreises durch das Produkt πD bestimmt. Die Anzahl der das Seil bildenden Drähte, welche den Durchmesser d besitzen, sei vorläufig gar nicht in Betracht gezogen. Soll nun um dieses Drahtseil eine weitere Lage von Drähten gleichen Durchmessers (d) gewunden werden und denkt man sich durch die Mittelpunkte der Drähte dieser Lage abermals einen Kreis gelegt (Fig. 3), so ist sein Durchmesser $D + 4\frac{d}{2} = D + 2d$ und sein Umfang $\pi(D + 2d) = \pi D + 2\pi d = \pi D + 6{,}28318 d$.

Der Umfang dieses Kreises ist also um $6{,}28318\ d$ grösser als der Umfang des erstgedachten Kreises vom Durchmesser D. Berücksichtigt man weiter, dass die Berührungspunkte der Drähte der hinzukommenden Lage alle etwas innerhalb der Peripherie dieses Kreises gelegen sind, so kann man die rechts vom Komma stehenden Ziffern vernachlässigen. Die Anzahl der Drähte ist daher in der folgenden Lage um sechs grösser als in der ersten Lage, ohne Rücksicht auf die Zahl der in der letzteren befindlichen Drähte, unter der Voraussetzung aber, dass die Durchmesser sämtlicher Drähte gleich sind.

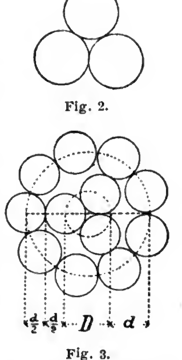


Fig. 2.

Fig. 3.

Dehnt man diese Betrachtung auf die weiter folgenden Lagen aus, so ergiebt sich selbstverständlich immer das gleiche Resultat, und wird als erste Lage das dreifache Seil, Fig. 2, angenommen, so erhält man durch Hinzufügen weiterer Lagen Drahtseile, deren Drahtanzahl in jeder Lage und deren Gesamtdrahtanzahl aus folgender Tabelle zu entnehmen ist:

Drahtlagen	I. Lage	II. Lage	III. Lage	IV. Lage	V. Lage	u. s. f.
Anzahl der Drähte in jeder Lage	3	9	15	21	27	u. s. f.
Gesamtanzahl der Drähte	3	12	27	48	75	u. s. f.

Weiter sind noch die Kombinationen möglich, bei welchen die ersten Lagen aus vier, bezw. fünf Drähten bestehen (Fig. 4 u. 5).

Die Drähte der folgenden Lagen müssen nach demselben Gesetze zunehmen, und man erhält wieder andere und zwar die in folgenden beiden Tabellen angegebenen Drahtseile.

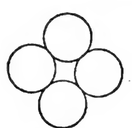


Fig. 4.

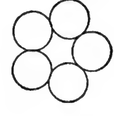


Fig. 5.

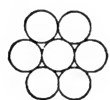


Fig. 6.

Drahtlagen	I. Lage	II. Lage	III. Lage	IV. Lage	u. s. f.
Anzahl der Drähte in jeder Lage	4	10	16	22	u. s. f.
Gesamtanzahl der Drähte	4	14	30	52	u. s. f.

Drahtlagen	I. Lage	II. Lage	III. Lage	IV. Lage	u. s. f.
Anzahl der Drähte in jeder Lage	5	11	17	23	u. s. f.
Gesamtanzahl der Drähte	5	16	33	56	u. s. f.

Wie aus den Figuren 2, 4 und 5 hervorgeht, wird der Zwischenraum in der Achse der Seile desto grösser, je grösser die Anzahl der Drähte in der ersten Lage ist. Fügt man nun der letzten Kombination in der ersten Lage noch einen weiteren Draht hinzu, so dass also die erste Lage aus sechs Drähten besteht, so wird der Hohlraum in der Achse des Seiles so gross, dass auch er einen Draht gleichen Durchmessers aufnehmen kann, und man erhält ein einfaches Seil mit einer Seele. Fig. 6.

Durch Vermehrung der Lagen mittelst Drähte von gleichem Durchmesser ergeben sich die nachstehend angeführten Seile:

Drahtlagen	Seele	I. Lage	II. Lage	III. Lage	IV. Lage	V. Lage	VI. Lage	VII. Lage	VIII. Lage	u.s.f.
Anzahl der Drähte in jeder Lage . . .	1	6	12	18	24	30	36	42	48	u.s.f.
Gesamtanzahl der Drähte	1	7	19	37	61	91	127	169	217	u.s.f.

Es erübrigt nur noch, die kombinierte Verseilung kurz zu erwähnen, deren Grundformen jenen der einfachen Verseilungsmethoden entsprechen, nur dass man es hier nicht mit massiven Drähten, sondern mit bereits fertigen Drahtlitzen zu thun hat, welche abermals nach den Prinzipien der einfachen Verseilung mit einander vereinigt werden. Auch hier kann eine Drahtlitze als Seele verwendet werden, und es ist auf diese Art durch verschiedene Kombination der besprochenen Methoden einfacher Verseilungsarten die Herstellung einer so grossen Anzahl von verschiedenen Drahtseilen möglich, dass dieselben hier nicht alle angeführt werden können. Eine der gebräuchlichsten dieser kombinierten Verseilungen ist die 49fache Verseilung, bei welcher das Seil aus sieben mit einander verseilten siebendrähtigen Litzen besteht. (Fig. 7.)

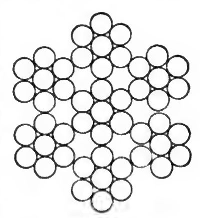


Fig. 7.

Das Prinzip, auf welchem die Maschinen zur Verseilung von Drähten beruhen, ist ein sehr einfaches. An der Peripherie einer Metallscheibe A (Fig. 8), welche um eine durchbohrte Achse W drehbar ist, sind beispielsweise 6 Spulen s befestigt, auf denen die zu verseilenden Drähte aufgewunden werden.

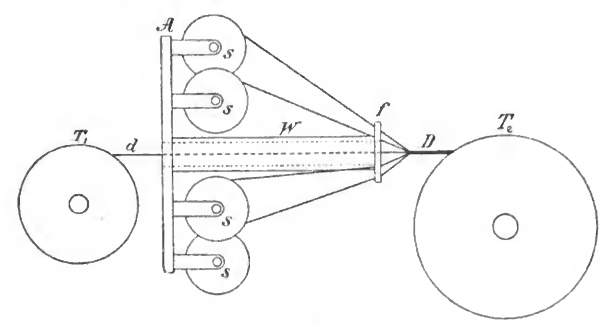


Fig. 8.

Die Enden dieser Drähte werden durch eine mit der Achse W festverbundene, entsprechend durchlochte Scheibe f hindurchgesteckt und sodann, während die Scheibe A in Rotation versetzt wird, gegen die Trommel T_2 hingezogen, wodurch die Drähte gezwungen werden, sich langsam von den Spulen s abzuwickeln und sich jenseits der

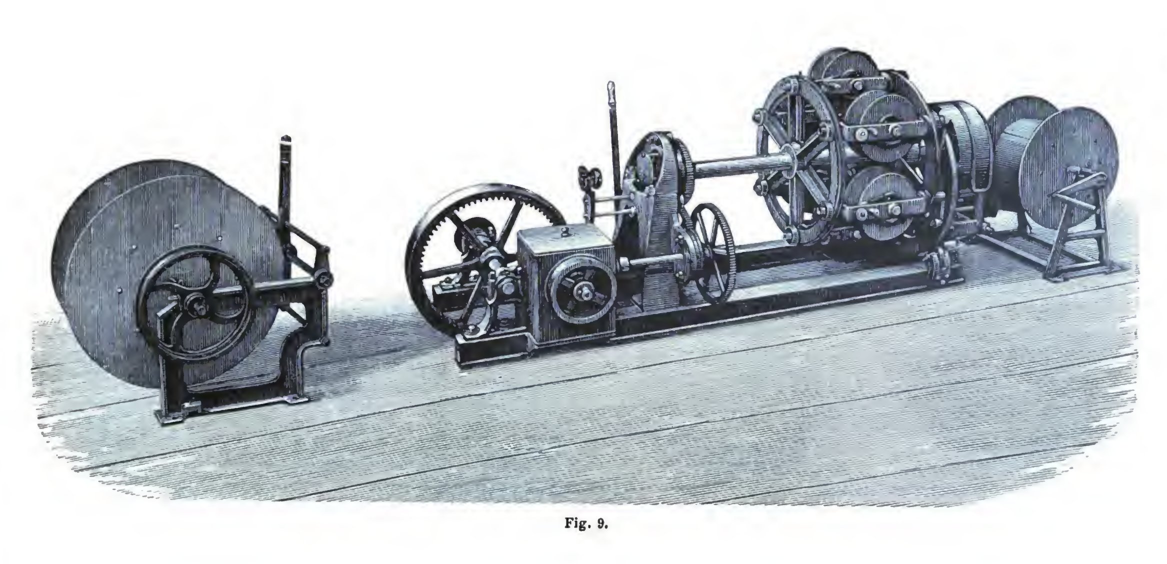


Fig. 9.

Führung *f* schraubenförmig um einander herumzuwinden. Das fertige Drahtseil *D* wickelt sich auf der Trommel T_2 auf. — Soll dasselbe auch eine Seele besitzen, so wird hinter der Maschine die Trommel T_1 aufgestellt, der auf letzterer aufgewickelte Draht *d* durch die hohle Achse *W* und die Führung *f* hindurchgesteckt und mit den sich um ihn herumwickelnden sechs Drähten der Spulen *s* gestreckt auf die Trommel T_2 aufgewickelt.

Eine solche einfache Verseilmaschine ist in Fig. 9 dargestellt, wie sie die Firma Brüder Demuth in Wien baut. Hier ist, wie bei allen Kabelmaschinen, noch zwischen der eigentlichen Maschine und der Aufwindetrommel ein Abzugsrad eingeschaltet.

Bei der Herstellung von Drahtseilen ist es ein Haupterfordernis, dass die einzelnen Drähte sich fest an einander legen. Nachdem aber bei jedem Seile, sei es nun ein Draht- oder ein Hanfseil, die einzelnen Bestandteile, also im vorliegenden Falle die einzelnen Drähte, infolge ihrer Elastizität das Bestreben haben, sich wieder aufzuwinden und ihre ursprüngliche gestreckte Gestalt anzunehmen, wodurch das Seil seinen Querschnitt vergrössert und das fertige Kabel eine Torsion erhält, welche auf seine Isolierung sehr nachteilig wirkt, so musste man zu einem Hilfsmittel greifen, um diesem Übelstande abzuhelfen. Dieses Hilfsmittel besteht darin, dass man dem Drahte eine Gegendrehung giebt.

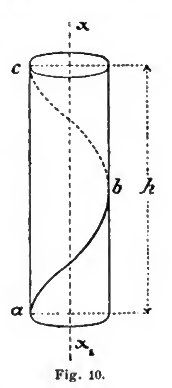


Fig. 10.

Bilden also die mit einander zu verseilenden Drähte lauter rechtsgewundene Schraubenlinien, so müssen dieselben im entgegengesetzten Sinne, also nach links, um ihre Achsen verdreht werden. Infolge ihrer Torsionsfestigkeit werden die Drähte das Bestreben haben, die ihnen gegebene Torsion wieder rückgängig zu machen und sich nach rechts, also im Sinne der Verseilung, zu drehen, wodurch sie sich fest an einander pressen, dem Seile ein festes Gefüge erteilen und wodurch auch die Torsion des Kabels vermieden wird.

Diese Rückdrehung der Drähte wird bei den Verseilmaschinen durch eine Vorrichtung bewirkt, welche die Spulen *s* (Fig. 8) während ihrer Rotation um die hohle Achse *W* in einer stets zu sich selbst parallelen Lage erhält.

Wie bereits erwähnt wurde, bilden die Achsen der einzelnen Drähte eines Seiles lauter Schraubenlinien. In Fig. 10 stellt der Cylinder die Grundform eines bestimmten Stückes eines solchen Drahtseiles, die Linie *a b c* die Achse eines einzigen Drahtes dieses Seiles vor.

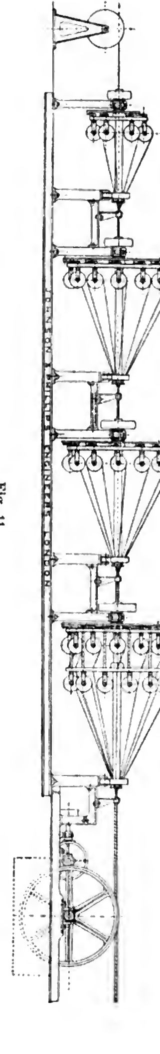


Fig. 11.

Das Stück $a\,b\,c$ nennt man eine **Drall-Länge**, $a\,b$ und $b\,c$ stellen je einen halben Drall vor. Die Linie $a\,b\,c$ ist um so länger, je grösser der Durchmesser des Cylinders bei gleicher Höhe ($ac = h$) ist, also je geringer die Steilheit ihres Ansteigens ist.

Berechnet man den Querschnitt eines Drahtseiles, so geschieht dies durch Summierung der Querschnitte der einzelnen Drähte. Den Querschnitt eines Drahtes erhält man aber, indem man denselben senkrecht zu seiner Achse schneidet; die kreisförmige Schnittfläche repräsentiert sodann den gesuchten Querschnitt. Dasselbe gilt auch von einem Drahtseile; auch hier bildet ein senkrecht zur Achse geführter Schnitt den Querschnitt. Weil aber die einzelnen Drähte, aus denen das Seil besteht, nicht parallel zur Achse des letzteren liegen, sondern in schraubenförmigen Linien um dieselbe herumgewunden sind, so werden sie auch durch einen senkrecht zur Achse des Seiles geführten Schnitt nicht senkrecht geschnitten und ihre Schnittflächen können keine Kreise, sondern müssen Ellipsen sein, deren kleine Achsen gleich dem Durchmesser der Drähte sind. Hieraus folgt, dass der Kupferquerschnitt des ganzen Seiles nicht mehr gleich der Summe der Querschnitte der einzelnen Drähte, sondern grösser geworden ist. Je geneigter die einzelnen Drähte also zur Achse des Seiles liegen, desto mehr wird sich der Gesamtquerschnitt vergrössern. Um dem vorherbestimmten Querschnitte des Seiles möglichst nahe zu kommen, ist es nötig, die Verseilung möglichst leicht vorzunehmen, also die Drallhöhe möglichst gross zu wählen, so dass die Differenz zwischen der Länge des ganzen Seiles und der Länge der einzelnen Drähte möglichst klein ausfällt. Dies lässt sich leicht durch Regulierung des Transportes an der Maschine bezw. der Tourenzahl des Abzugsrades bewerkstelligen, und es soll die Differenz zwischen Seillänge und Drahtlänge nicht mehr als 2% betragen.

Wenn das herzustellende Seil nur aus einer einzigen Lage von Drähten besteht, lässt sich dieses Verhältnis leicht ermitteln. Ganz anders liegt die Sache aber, wenn auf einer Maschine, wie sie in Fig. 11 dargestellt ist, um eine Seele gleichzeitig 4 Drahtlagen ge-

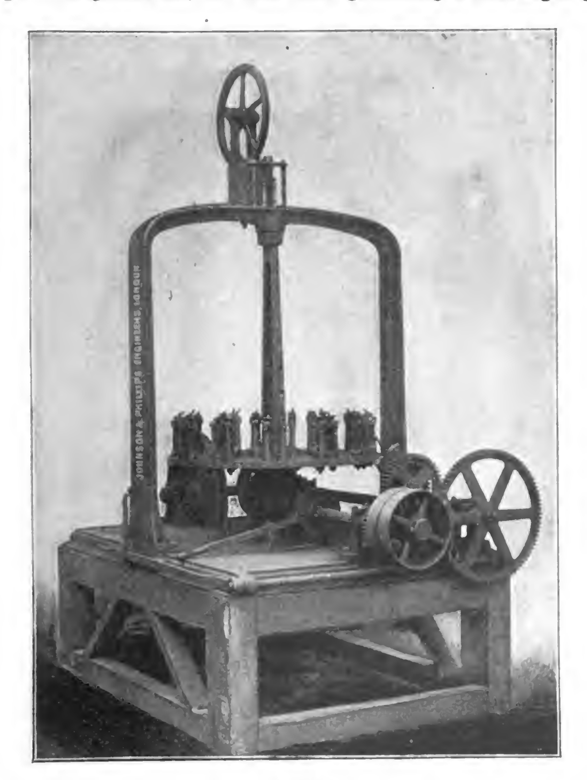


Fig. 12.

wunden werden. Bei einer solchen Maschine wächst der Durchmesser des Seiles von Drahtschicht zu Drahtschicht und kann mit dem Transport des Seiles, welcher auf der ganzen Maschine

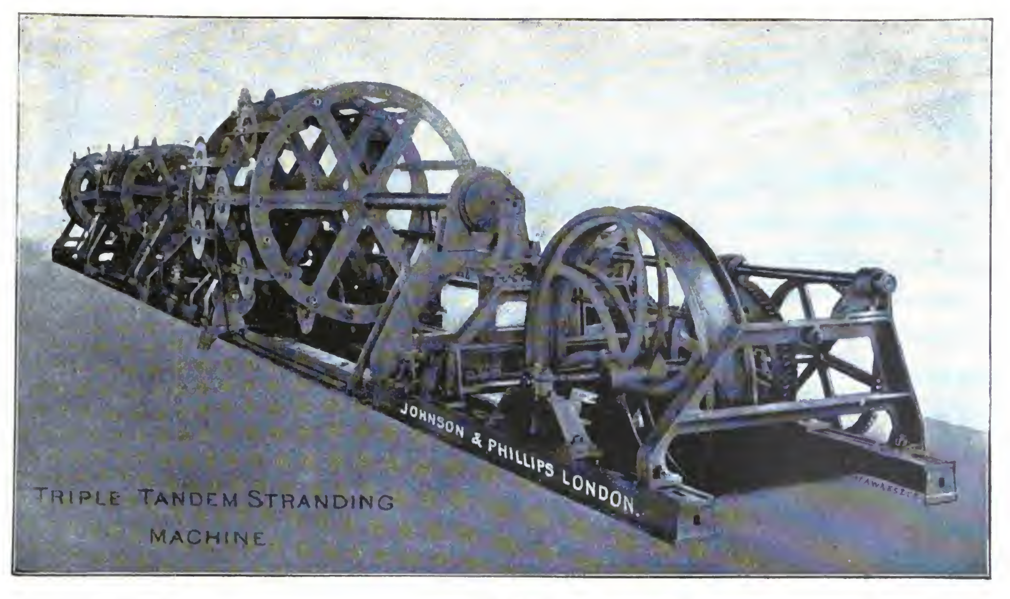


Fig. 13,

derselbe ist, nicht in Einklang gebracht werden. Es ist leicht einzusehen, dass die Verseilung in jedem Teile der Maschine gegen das Abzugsrad hin immer schärfer, die Drallhöhe also immer geringer werden müsste, wenn sämtliche 61 Spulen der Maschine mit gleicher Geschwindigkeit um die Seele rotieren würden. Hier muss daher die Tourenzahl der einzelnen Spulenträger durch entsprechend grösser werdende Riemenscheiben derart reguliert werden, dass die Verseilung in allen Lagen die gleiche Drallhöhe besitzt und zwischen den Drahtlängen und der Seillänge wieder das Verhältnis von 2% hergestellt wird.[1])

Derartige Verseilmaschinen werden in den verschiedensten Konstruktionen und in allen Grössen gebaut, und es würde zu weit führen, wenn hier alle die verschiedenen Typen aufgezählt werden sollten. Es sei nur erwähnt, dass man auch schon für ganz schwache Drahtseile zu flexiblen Leitungen Verseilmaschinen mit und ohne Rückdrehung baut, welche durch die in Fig. 12 dargestellte vertikale Verseilmaschine mit 18 Spulen repräsentiert werden sollen.

Diese Maschine stammt von der Firma Johnson & Phillipps in London und hat den Vorteil, dass sie sehr rasch arbeitet und dabei einen sehr kleinen Raum einnimmt.

Diese Firma baut auch seit neuerer Zeit eine höchst interessante Maschine, welche zur Herstellung von Seilen bis zu 127 Drähten geeignet und in Fig. 13 abgebildet ist. Der erste Teil derselben trägt 6, der zweite 12 und der dritte Teil 18 Spulen, so dass man vorerst in gewöhnlicher Weise ein 37faches Seil herstellen kann. Weiter ist aber bei dieser Maschine die sinnreiche Einrichtung getroffen, dass alle drei Teile mit gleicher Geschwindigkeit nach derselben Richtung in Rotation versetzt werden können und dass man durch geeignete Vorrichtungen in der Lage ist, sämtliche 36 Drähte in einer Schicht um ein Kabel zu winden, welche Einrichtung sich vorzüglich für die Herstellung der später erwähnten konzentrischen Kabel eignet. Wenn man ein 37faches Kabel neuerlich durch die Maschine führt und dasselbe mit 24 Drähten umkabelt, so erhält man ein 61faches Seil, und durch Fortsetzung dieses Verfahrens gelingt es mit dieser Maschine, auf leichte Weise endlich ein 127faches Kabel herzustellen.

---

[1]) Siehe Elektrotech. Zeitschrift, Berlin 1888, Seite 208, »Über die Form des Leiters von elektrischen Kabeln.«

II.

Die Isolierung der Adern.

Die Umspinnung.

Die einfachste Art der Isolierung der Drähte besteht darin, dass ein Faden in dicht an einander liegenden Windungen um den Draht gewickelt wird. Der Draht erhält dadurch eine anliegende Hülle, welche ihn, auch wenn er gebogen wird, dicht umschliesst. Einen auf diese Weise isolierten Draht nennt man «umsponnenen Draht». Um einen Draht zu umspinnen, lässt man eine Spule *s*, auf welcher der umzuspinnende Faden aufgewickelt ist, um den Draht laufen, welcher sich der fortschreitenden Umspinnung entsprechend fortbewegt, indem er von einer Spule *A* abgewickelt und auf eine zweite Spule *B* aufgewickelt wird (Fig. 14). Die umlaufende Fadenspule sitzt auf einer Scheibe *S*, deren Welle durchbohrt ist, so dass der Draht durch die Bohrung geführt werden kann. Dies ist das einfache Prinzip, welches bei den Maschinen zum Umspinnen der Drähte angewendet wird. Die Maschinen selbst hierzu

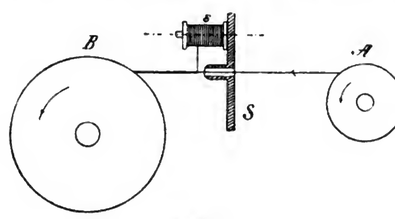


Fig. 14.

sind jedoch nicht so einfach wie die in Figur 14 angedeutete schematische Darstellung, denn zur tadellosen, zweckmässigen Umspinnung der Drähte sind noch manche andere Vorrichtungen unerlässlich. Vorerst muss der zu umspinnende Draht stets in einer gewissen Spannung erhalten werden, zu welchem Zwecke die Spule *A*, von welcher der blanke Draht abläuft, durch eine um ihren Umfang gelegte und durch ein Gewicht belastete Schnur gebremst werden muss. Die Fortbewegung des Drahtes von der Spule *A* gegen die Spule *B*, der «Transport», muss im Einklang mit der Tourenzahl der Scheibe *S* stehen, damit einerseits zwischen den einzelnen um den Draht gesponnenen Fäden keine blanken Stellen bleiben; anderseits aber darf sich auch der zu umspinnende Draht nicht zu langsam fortbewegen, damit die Dicke der Umspinnung nicht zu gross wird. Ferner ist die Scheibe *S*, auf welcher die Spule *s* sitzt und welcher

Apparat der »Spinnläufer« oder schlechtweg »Spinner« genannt wird, mit einer Fadenführung und einer Brems- oder Spannvorrichtung für den umzuspinnenden Faden zu versehen, damit der Faden stets an einer bestimmten Stelle an den blanken Draht geführt wird und sich dicht an seine Oberfläche anlegt. Schliesslich muss zwischen dem Spinnläufer S und der Spule B noch eine entsprechende Abzugs-

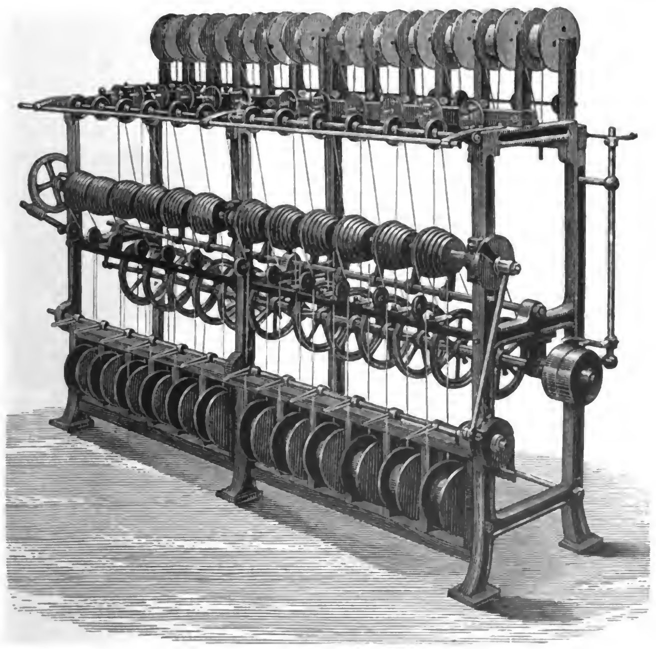


Fig. 15.

scheibe eingeschaltet werden und eine Vorrichtung, der sogenannte Verteiler, vorhanden sein, welcher ein schichtenweises und gleichmässiges Aufwinden des umsponnenen Drahtes auf der Spule B ermöglicht.

In der Praxis wäre es höchst unökonomisch, die Maschinen nur zur Umspinnung eines einzigen Drahtes zu konstruieren; es werden

daher die für die Umspinnung eines Drahtes nötigen Vorrichtungen, welche zusammengenommen «ein Gang» heissen, derart neben einander angeordnet, dass man in der Lage ist, auf einer Maschine gleichzeitig mehrere Drähte zu umspinnen. Derartige Maschinen sind in Fig. 15 und 16 dargestellt, wie sie die Firma Brüder Demuth in Wien konstruiert. Fig. 15 stellt eine Umspinnmaschine mit 12 Gängen für Drähte von 0.5—1.0 *mm* Durchmesser, Fig. 16 eine

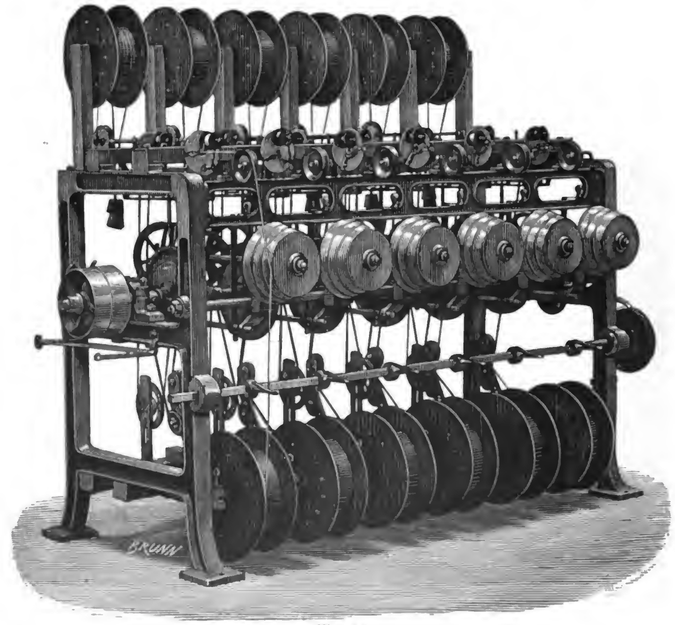


Fig. 16.

solche mit 6 Gängen für Drähte von 1.0—3.5 *mm* Durchmesser dar. Letztere besitzt überdies eine Vorrichtung, mittels welcher jener Gang sofort automatisch abgestellt wird, bei welchem entweder der Umspinnungsfaden gerissen, oder die Spule, auf welcher derselbe aufgewunden wird, leer geworden ist. Die Maschinen zur Umspinnung der schwächsten Kupferdrähte von 0.07—0.5 *mm* Durchmesser sind

jener in Fig. 15 dargestellten sehr ähnlich, doch werden dieselben auch mit bis 20 Gängen gebaut.

Diese Maschinen sind zur Umspinnung mit Seide, Zwirn oder Wolle gleich gut geeignet und werden auch, wie Fig. 16 zeigt, für doppelte Umspinnungen eingerichtet, wobei die Umdrehungsrichtung der beiden hintereinander angeordneten Spinnläufer in entgegengesetztem Sinne erfolgt.

Das Umspinnen der Drähte mit solchen Maschinen erfordert im allgemeinen keine besondere Übung, jedoch ist zum Vorrichten der Maschine namentlich bei schwachen Drähten Erfahrung und grosse Sorgfalt nötig. Bei ganz schwachen Drähten ist hauptsächlich darauf zu sehen, dass die Spannung der Drähte eine möglichst geringe ist, damit sich der Draht während der Umspinnung nicht streckt, wodurch er seine Dehnbarkeit verliert und sehr leicht brüchig wird. Auch die Spannung des Umspinnungsfadens muss, obwohl sich der letztere dicht an den Draht anlegen soll, auf ein Minimum beschränkt werden, weil sonst die zarten Drähte durch einen allzu straff gespannten Faden sehr in Anspruch genommen, gewissermassen gewürgt werden, was ein häufiges Reissen des Drahtes zur Folge hat. Die Umspinnungsfäden werden nie einfach, sondern je nach der Stärke des Drahtes und des zu umspinnenden Materiales drei-, vier- oder fünffach genommen, so dass sich stets drei, vier oder fünf Fäden gleichzeitig um den Draht herumlegen. Hierdurch erzielt man eine grössere Dichte der Umspinnung und läuft nicht Gefahr, dass sich am Drahte, wenn derselbe zusammengebogen wird, blanke Stellen zeigen.

Die Überspinnung der Drähte ist in möglichst grossen Längen ohne Bund herzustellen, weil Bünde nicht nur eine Änderung des elektrischen Widerstandes und Isolationsfehler bilden, sondern auch beim Gebrauch des fertigen Drahtes, sei es nun für Widerstands- oder Induktionsspulen oder für sonstige Zwecke, arge Hindernisse sind. Muss aber ein Bund gemacht werden, so sind die zu verbindenden Drahtenden gehörig blank zu scheuern, in einer der Drahtstärke entsprechenden Länge mit Silber gut zu verlöthen und dann durch Umwickeln mit dem bei dem betreffenden Drahte verwendeten Umspinnungsmaterial sorgfältig zu isolieren, wobei die Dicke des Bundes den Drahtdurchmesser nicht erheblich übersteigen darf. Der umsponnene Draht wird sodann von den Maschinenspulen, je nach seiner Stärke auf Verkaufsspulen, welche 0.25, 0.50 bis 1.00 *kg* Draht aufnehmen, aufgespult und muss, bevor er in den Handel gebracht wird, auf seinen elektrischen Widerstand, zum mindesten auf seine Kontinuität geprüft werden.

Die in Fig. 15 und 16 dargestellten Maschinen eignen sich zur

Umspinnung von feinen Seiden-, Zwirn- und Wolldrähten, welche, wie bereits erwähnt wurde, grösstenteils zur Wickelung von Induktions- und Widerstandsspulen für elektrische Apparate aller Art, sowie auch zur Umspinnung von Drähten für die Anker- und Magnetwickelung kleiner Dynamomaschinen u. s. f. verwendet werden.

Bei allen diesen Drähten, welche nur in ganz trockenen Räumen Verwendung finden dürfen, muss die Isolationshülle im Verhältnisse zum Drahtdurchmesser möglichst dünn sein. Eine ganz besonders gute Umspinnung erfordern jene Drähte, welche für Dynamomaschinen verwendet werden. Ein Fehler in der Isolierhülle kann leicht zu Kurzschlüssen in der Maschine führen, namentlich wenn Stellen mit grösseren Spannungsunterschieden in Berührung kommen, und dann wird die Wickelung durch die vom Strome erzeugte Wärme bald zerstört und die Maschine unbrauchbar. Handelt es sich jedoch darum, dem Drahte bei der Umspinnung eine stärkere Isolierung zu geben, welche eine häufige, scharfe Biegung des Drahtes aushalten soll, ohne blanke Stellen zu zeigen, so erreicht man das am einfachsten dadurch, dass man rings um den Draht sogenannte Einlauffäden oder Langfäden in der Längsrichtung des Drahtes durch die Maschine führt und dieselben gleichzeitig mit dem Drahte einfach mit Wolle überspinnt. Diese Fäden werden 3-fach bis 7-fach auf Spulen aufgewunden, deren 6 bis 8 an der Maschine angebracht sind und den Draht bei seinem Laufe durch die Umspinnungsmaschine der Länge nach in konzentrischer Anordnung begleiten, so dass der Draht je nach seiner Stärke und der Anzahl der Langfadenspulen von 18 bis 56 einzelnen durch die Umspinnung fest angedrückten Wollfäden umgeben ist.

Eine weitere Art der Umspinnung, welche nur für stärkere Drähte und zwar gewöhnlich dann angewendet wird, wenn ausser der Umspinnung noch eine weitere Isolierhülle auf den Draht gebracht wird, ist die sogen. mehrfache Umspinnung, auch Plattierung genannt. Die Umspinnung ist bedeutend stärker als die vorher besprochene; ihre Dicke erreicht oft auch die Grösse des Drahtdurchmessers und darüber und wird durch Maschinen hergestellt, deren Prinzip den bereits bekannten Maschinen vollkommen gleich ist, deren Spinnläufer jedoch statt einer Spule 6 bis 24 und auch mehr Spulen tragen, von welchen die Fäden gleichzeitig um den Draht gesponnen werden. Derartige starke Umspinnungen, welche nur aus Wolle, Jute oder Hanf erzeugt werden, müssen an ihrer Oberfläche häufig noch geglättet werden, weil es nicht zu erreichen ist, dass die einzelnen Fäden sich so nebeneinanderlegen, dass die Oberfläche der Umspinnung eine tadellose Cylindermantelfläche bildet. Diesem Übelstande wird aber dadurch sehr leicht abgeholfen, dass man einfach den

Spinnläufer verkehrt auf die Maschine aufsetzt, so dass nicht wie früher der blanke Draht durch die hohle Achse des Spinnläufers, sondern der bereits umsponnene Draht hindurchgezogen wird, welcher daselbst noch ein genau passendes Mundstück passieren muss, aus dem die Oberfläche der Umspinnung geglättet und vollkommen cylindrisch hervorgeht.

Besonders wichtig ist die genau cylindrische, überall gleich starke Umspinnung bei jenen isolierten Leitungen, welche nachher mit einem Bleimantel umgeben werden.

Bei schweren Kabeln wird zur Umspinnung gewöhnlich nur Jute oder Hanf verwendet.

Jute ist die Bastfaser von Corchorus capsularis und Corchorus olitorius (Ostindien). Die aus Jute gesponnenen Fäden und Schnüre werden zum Zwecke der Verarbeitung in Kabeln häufig mit Holztheer (Stockholmtheer) getränkt oder gegerbt. Dieselben haben eine bedeutend geringere Festigkeit als die aus Hanf gewonnenen und werden daher auch nur als isolierende Bedeckungen verwendet. Soll die Umspinnung jedoch dazu beitragen, dem Kabel eine grössere Zugfestigkeit zu verleihen, wird gewöhnlich der italienische oder der Manilla-Hanf in Anwendung gebracht.

Die Umwickelung.

Die Isolierung der Leitungen mittels der Umwickelung kann als eine Abart der Umspinnung betrachtet werden, denn sie erfolgt genau nach denselben Prinzipien wie letztere: es ist nur die Beschaffenheit und Form des zur Isolierung verwendeten Materiales eine andere, und diese bedingt daher auch nur eine geänderte Form und Anbringung der Spule, welche, das Isoliermaterial abwickelnd, um den metallischen Leiter rotiert. Die Form des Isoliermateriales ist hier stets die gleiche; es ist immer ein Band, welches um den Leiter herumgewickelt wird. Das Material, aus welchem dieses Band besteht, kann ein verschiedenes sein, ohne dass sich deshalb die Form der Maschine wesentlich ändern müsste. Der Apparat, welcher zum Umwickeln von Leitungen dient, ist im Prinzip ganz dasselbe, was bei der Umspinnmaschine der Spinnläufer ist. Er besteht ebenfalls aus einer zentrisch durchbohrten Scheibe, welche um den Leiter in Rotation versetzt werden kann, und einer an ihrer Peripherie befestigten Spule, welche das umzuwickelnde Band trägt. Die Stellung dieser Spule zum Leiter ist aber eine wesentlich andere als wie bei den Umspinnmaschinen. Bei letzteren ist die Achse der Spule, welche den Umspinnungsfaden trägt, stets parallel zu dem zu umspinnenden Leiter gerichtet, so dass der Faden in beinahe senkrechter Richtung um den Leiter gewunden wird. (Fig. 14.)

Wollte man eine derartige Vorrichtung wie den gewöhnlichen Spinnläufer zum Umwickeln mit einem Bande benutzen, so würden die einzelnen Windungen des Bandes beinahe ganz über einander zu liegen kommen und der isolierten Leitung ein schuppenartiges Aussehen verleihen, worunter ihre cylindrische Form leiden müsste. Weiter würde viel zu viel Isoliermaterial aufgewendet werden müssen, ohne dass hierdurch die Isolierung bedeutend gewinnen könnte. Wollte man nun endlich diesen Übelständen dadurch begegnen, dass man die Geschwindigkeit des Transportes vergrösserte, so würde sich das Band verdrehen, sieh umschlagen und reissen. Es bleibt also nichts anderes übrig, als der Spule des Bandwickelapparates eine andere Stellung zu geben, wie dies in Fig. 17 skizziert ist. Die Neigung der Spule gegen den Leiter wird durch die Breite des verwendeten Bandes gegeben und bestimmt dann die Gangweite *a*. Je breiter das Band im Verhältnisse zum Durchmesser der zu umwickelnden Leitung, desto grösser wird die Gangweite. Die Spulenträger sind deshalb um die Achse *c* drehbar, damit man die Neigung der Spule je nach der Breite des Bandes entsprechend regulieren kann.

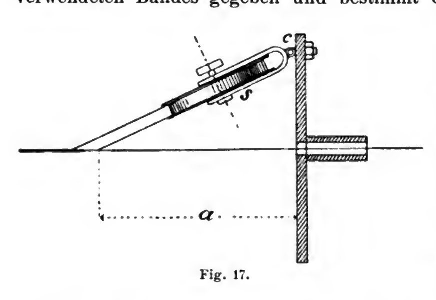


Fig. 17.

Solche Bandwickelapparate können ohne weiteres auf jede geeignete Umspinnmaschine entweder an Stelle der Spinnläufer oder zwischen die Spinnläufer aufmontiert werden. Letzteres ist sehr gebräuchlich, da man die Bandumwickelung nicht immer als einzige Isolierung anwendet, sondern häufig mit der Umspinnung kombiniert, wie dies später noch besprochen werden wird. Soll eine Leitung mit zwei Lagen Bandumwickelung versehen werden, so werden dieselben gerade so wie bei der doppelten Umspinnung in einander entgegengesetzten Richtungen um den Leiter gewickelt.

Um eine Leitung mit einem Bande zu umwickeln, ist in erster Linie die Gangweite derart zu regulieren, dass die Ränder des um die Leitung gewickelten Bandes genügend über einander greifen, so dass zwischen denselben keine Fugen entstehen, durch welche die Oberfläche der zu umwickelnden Leitung blosgelegt werden würde. Endlich ist darauf zu achten, dass die Spule des Bandwicklers eine derartige Neigung hat, dass das Band an beiden Kanten

in gleicher Spannung erhalten wird, was namentlich bei unelastischen Bändern, aus Papier, Leinen u. dgl., von Wichtigkeit ist, da das Band an der Leitung sonst mit der Öffnung gegen den Bandwickler zugekehrte Düten bildet, deren Öffnung bei jeder weiteren Umdrehung grösser wird, bis ihre Ränder von der folgenden Umwickelung nicht mehr erfasst werden können, aufsteigen, sich falten und blanke

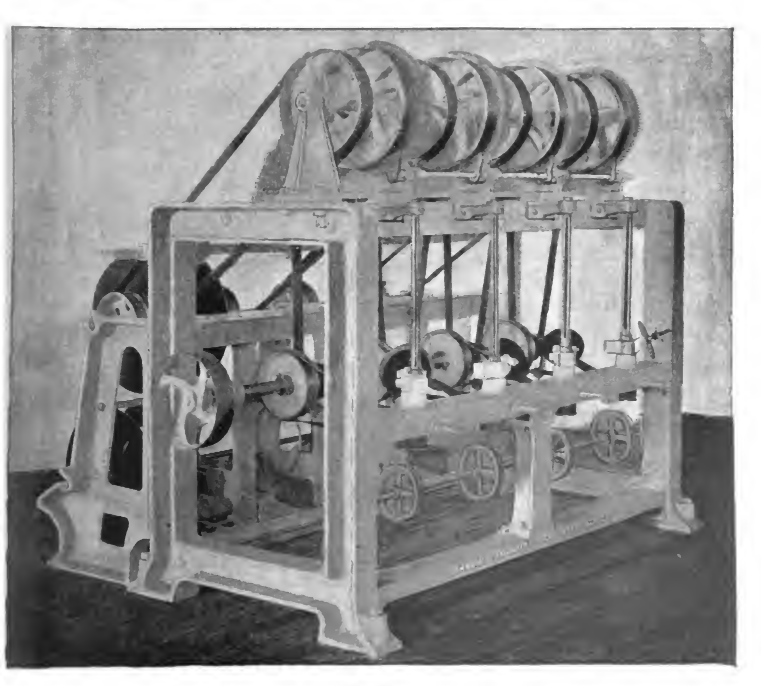


Fig. 18.

Stellen bilden. Die Firma Johnson & Phillips in London baut Umwickelungsmaschinen der verschiedensten Konstruktionen. Fig. 18 zeigt eine viergängige vertikale Umwickelungsmaschine zur einmaligen Umwickelung schwächerer Leitungen, Fig. 19 eine horizontale Doppel-Umwickelungsmaschine für stärkere Leitungen. Letztere ist auch

geeignet, an andere Maschinen derart angereiht zu werden, dass man beispielsweise eine Leitung gleichzeitig verseilen, umspinnen und umwickeln kann.

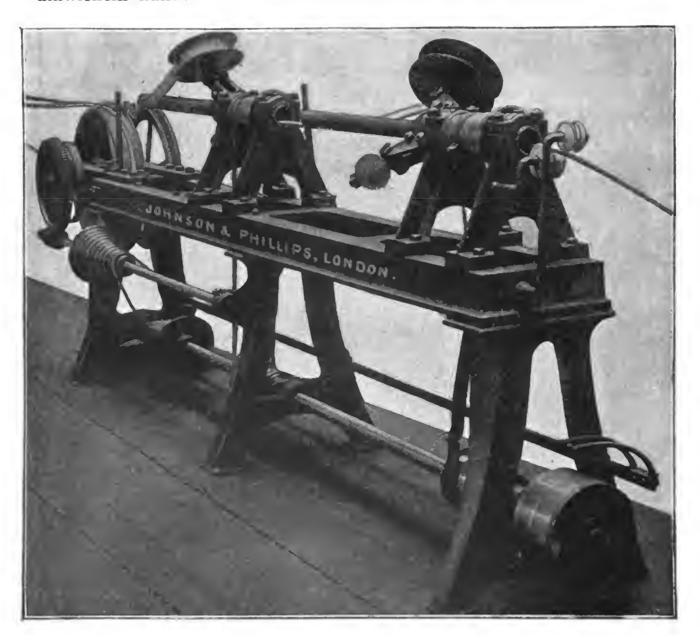


Fig. 19.

Die Umflechtung oder Umklöppelung.

In manchen Fällen genügen die Umspinnungen oder Umwickelungen nicht mehr, weil alle derartigen Umhüllungen das Bestreben haben, sich vom Leiter wieder abzulösen, wenn diese Isolierung aus was immer für Gründen an einer Stelle entfernt wird. Um diesem Übelstande abzuhelfen, umflicht man die Drähte, d. h. es werden zwei mehrfache Umspinnungen in entgegengnsetzter Windungsrichtung um den Draht gelegt und die Fäden der einen Windung mit denjenigen der anderen verflochten. Die Maschine, welche den Draht in dieser Weise beflicht, hat also zwei Arbeitsvorgänge zu bewirken

und zwar die Herstellung der beiden mehrfachen Umspinnungen und die Verflechtung derselben mit einander. Der Vorgang wird dadurch verwickelt, dass die Spulen der einen Umspinnung denen der anderen entgegenlaufen müssen. Um dies zu erreichen, giebt man den Spulen bei ihren Umläufen um den Draht solche Wege, dass, wenn zwei Spulen an einander vorbeigehen, ihre Fäden mit einander verflochten werden. So laufen die in Fig. 20 gezeichneten Spulen s_1 auf dem durch einen vollen Strich angedeuteten Wege im Sinne des Uhrzeigers um den Draht o, welcher im Querschnitte dargestellt ist; die anderen Spulen s_2 laufen in entgegengesetzter Richung auf der gestrichelt gezeichneten Bahn um den Draht herum.

Es ist nun erklärlich, dass, wenn zwei Spulen aneinander vorbei laufen, sie ihre Fäden verflechten werden, und zwar wird der Faden einer Spule, welcher bei der Verflechtung mit dem einer anderen oben zu liegen kam, bei der nächsten Spule unter deren Faden zu liegen kommen. Es kommt also nur darauf an, den Spulen die beiden verschiedenen, in einander verschlungenen Wege zu geben, auf denen sie sich mit gleichmässiger Geschwindigkeit zu bewegen haben. Dies wird in einfacher Weise durch Führung der Spulenträger in passend ausgeschnittenen Führungsschlitzen bewirkt.

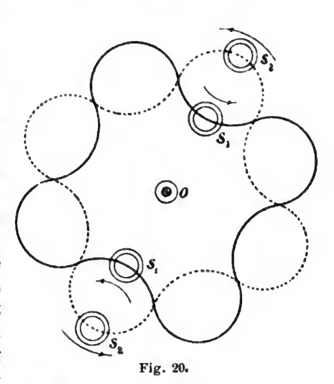


Fig. 20.

Fig. 21 stellt eine Flechtmaschine der Firma Gebrüder Demuth in Wien, Type *A* dar. Unterhalb der Maschine sind zwei Trommeln angebracht, auf deren einer die zu umklöppelnde Leitung aufgewunden wird. Letztere wird durch die horizontalen Stahlplatten der Maschine in vertikaler Richtung inmitten der Klöppelspulen nach aufwärts geführt und an einer über das Abzugsrad gelegten Schnur befestigt. Hierauf werden die Fäden der Klöppelspulen an einer Stelle mit der Leitung befestigt, gespannt und die Maschine angelassen. In dem Masse als die Umklöppelung fertiggestellt wird, wird die Leitung automatisch über das Abzugsrad hinweggezogen und die fertig umklöppelte Leitung auf der zweiten unter der Maschine angebrachten Trommel aufgewickelt.

Diese Maschinen verarbeiten ebenfalls Seide, Zwirn, Wolle, Jute und andere Garne, sogar auch dünne Drähte, und eignen sich, wenn

ihre Grösse entsprechend gewählt wird, zur Umklöppelung aller Art Leitungen. Auch hier werden die auf den Klöppelspulen aufgewundenen Fäden nie einfach, sondern stets mehrfach genommen. Die Zahl der gleichzeitig auf einer Spule aufgewickelten Fäden hängt von dem zur Verarbeitung gelangenden Materiale und vom Durchmesser der zu umklöppelnden Leitung ab.

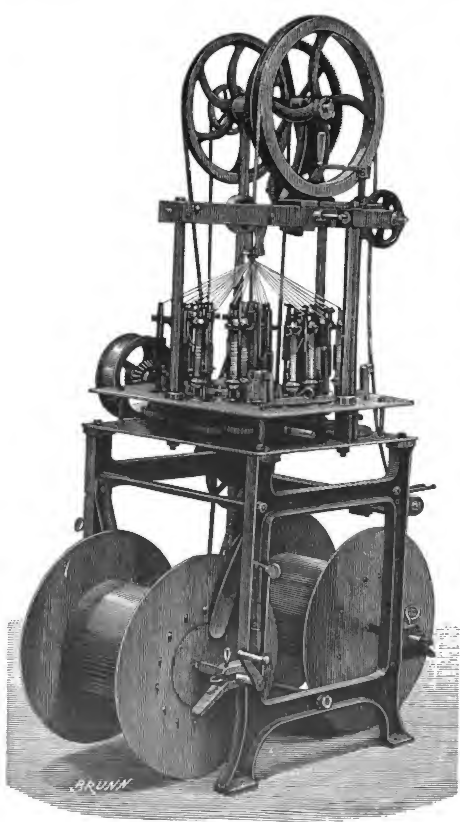


Fig. 21.

Die Umklöppelung wird hauptsächlichst bei flexiblen Leitungen, z. B. bei Schnüren für transportable Telegraphentaster oder Glühlichtlampen, ferner für Dynamodrähte und alle Arten schwächere Installationsleitungen angewendet; dagegen wird dieselbe bei schweren Leitungsmaterialien und Kabeln beinahe gar nicht mehr ausgeführt. Die Umklöppelung wird auch gewöhnlich niemals über die blanke Leitung, sondern meistens über eine anderweitige Isolierung, wie Umspinnung und Umwickelung, als

letzter Schutz hergestellt, und solche Leitungen werden in vielen Fällen schliesslich in irgend einer Imprägniermasse getränkt.

Die Imprägnierung.

Die Isolierung der Leitungen nach den bereits besprochenen Methoden gewährt denselben nur dann einen wirksamen Schutz, wenn an dieselben in Bezug auf elektrische Spannungen keine besonderen Anforderungen gestellt und wenn sie durch Feuchtigkeit nicht gefährdet werden. Sowohl die Umspinnung und Umwickelung als auch die Umklöppelung der Leitungen mit schlecht leitenden Materialien dient ja eigentlich zu nichts anderem, als die blanken metallischen Leiter entweder gegenseitig aus einander zu halten oder sie vor der unmittelbaren Berührung mit anderen guten Leitern zu schützen; einen wasserdichten Abschluss bilden sie aber keineswegs. Die zwischen den einzelnen Fäden oder Bandlagen bestehenden Lücken und Fugen bieten, wenn sie auch noch so klein sind, der Feuchtigkeit, welche sich an der Oberfläche solcher Leitungen befindet, Wege genug, um in kurzer Zeit bis an den metallischen Leiter zu dringen und ihn leitend mit seiner Oberfläche, bezw. mit der Erde zu verbinden.

Es ist daher nötig, bei allen Leitungen, welche vor Feuchtigkeit nicht absolut geschützt werden können, auch die kleinsten Zwischenräume in der Isolierhülle durch einen weiteren isolierenden Körper wasserdicht auszufüllen, und das kann nur durch eine Imprägnierung erreicht werden. Die Imprägniermasse ist aber dann selbstverständlich derart zu wählen, dass ihr Isolationsvermögen grösser oder mindestens ebenso gross ist, als jenes der bereits vorhandenen Isolierung, denn sonst würde man statt des angestrebten Zweckes gerade das Gegenteil erreichen. Die Materialien, welche zum Imprägnieren der Leitungen genommen werden, sind sehr verschieden, und ihre Beschaffenheit hängt auch wieder von der Verwendung der zu imprägnierenden Leitungen ab. Feine Seidendrähte, welche höheren Spannungen ausgesetzt werden, wie dies bei Telephonspulen vorkommt, werden gewöhnlich in Paraffin getränkt. Für Drähte, bei deren Verwendung es nicht ausgeschlossen ist, dass sie durch den Strom höhere Temperaturen annehmen, darf dieses Material aus leicht erklärlichen Gründen nicht gewählt werden. In diesem Falle, welcher bei Drähten eintritt, die zur Bewickelung von Dynamomaschinen verwendet werden, greift man zum Schellack. Drähte für Telegraphenzwecke, welche nicht im Freien verwendet werden, imprägniert man mit Wachs und zwar mit reinem Bienenwachs, weil dieses den Einflüssen der Luft am besten widersteht.

Zur Imprägnierung der stärkeren Leitungen und Kabel verwendet man meistens Mischungen (Compounds), welche zumeist aus Leinöl, Paraffin, Holztheer, Steinkohlentheer, Pech, Kolophonium und anderen isolierenden Körpern bestehen.

In erster Linie muss von jedem zur Imprägnierung zu verwendenden Körper ver[illegible] werden, dass er einen möglichst hohen
[illegible]ationswiderstand [illegible] nd letzterer darf bei Temperaturdiffe-
[illegible] keinen grosse[illegible] ungen unterliegen; ferner muss die
[illegible]niermasse vol[illegible] äurefrei sein, denn durch Säuren
[illegible] Kupferader [illegible] und zerstört. Endlich muss die
[illegible]rmasse ein G[illegible] eisen, welches ihr im trocken[illegible]
Zustande ble[illegible] higkeit und Biegsamkeit si[illegible]
nicht der [illegible] rn die Isoliermasse brüch[illegible]
[illegible] Biegen der [illegible] gnierten Leitung die Fas[illegible]
U[illegible] nach wiede[illegible] gen bröckelt die Imp[illegible]
ma[illegible] er metalli[illegible] st an solchen Stellen
dem [illegible] r Feuch[illegible] setzt.
[illegible] noch [illegible] he Induktionsk[illegible]
[illegible] icksic[illegible] [1]) Bei der In[illegible]
[illegible] lepho[illegible] darf die Be[illegible]
[illegible] ersc[illegible]

[illegible] ng
[illegible] sse
[illegible] us-
[illegible] en,
o[illegible] lle
ein[illegible] ch
Fäul[illegible] r-

Da[illegible]
diese[illegible]
einen [illegible]
senkten [illegible]
Sieden un[illegible]

---

[1]) Die Ka[illegible]
siehe Prasch-Wi[illegible]

Feuchtigkeit entwichen, und man kann annehmen, dass dies der Fall ist, wenn die kochende Masse keine Luftblasen mehr aufwirft. Bei der Herstellung von Bleikabeln werden übrigens noch ganz andere Hilfsmittel angewendet, um die in den isolierten Leitungen enthaltene Feuchtigkeit und Luft zu entfernen. Es wird dies bei der Besprechung der Bleikabelfabrikation des näheren erörtert werden. Die oben erwähnte Prozedur des Kochens beim Imprägnieren kann selbstverständlich nur dann angewendet werden, wenn die Isolierschicht dadurch keinen Schaden leidet, und es ist diese Methode auch bei einer aus Guttapercha oder Gummi bestehenden Isolierung, wie sich später zeigen wird, nicht anwendbar.

Bei der zweiten Art der Imprägnierung, bei welcher die Imprägniermasse mehr einen mechanischen Schutz der Isolierhülle [illegible]rstellen soll und sonach auch ihr Eindringen in die feinen Zwischen[illegible]me der Isolierung erst in zweiter Linie in Betracht gezogen [illegible]n kann, ist die Leichtflüssigkeit der Masse nicht nur nicht [illegible] sondern sogar nachteilig, denn die Masse soll, da sie nicht [illegible]hr in die Isolierung einzudringen vermag, nicht wieder ab[illegible] sondern haften bleiben. Die zu dieser Art der Imprägn[illegible]rwendeten Mischungen, die sogenannten Compounds, [illegible]istens aus einem Gemisch von Steinkohlentheer, Pech [illegible]phalt, welche Bestandteile in einem derartigen Verhält[illegible]ngerührt werden, dass sie eine dicke, breiige Masse [illegible] Masse wird in eigenen heizbaren Behältern auf einer [illegible]peratur erhalten und durch Schaufelräder auf die [illegible]ndbehälter durchgezogene Leitung bezw. Kabel [illegible]schüssige Masse wird dann vom Kabel abge[illegible]it kaltem Wasser bespritzt, damit sich die am [illegible]nierung rascher abkühlt und erstarrt. Hierauf [illegible] es nicht noch weiter isoliert oder armiert [illegible]ie Trommel gewunden. Ist die Imprägn[illegible]starrt, so kommt es vor, dass die ein[illegible] der Trommel aufgewickelten Kabels [illegible] beim Wiederabrollen desselben leicht [illegible] kann. Um diesem Nachteile zu [illegible] das aus dem Compoundbehälter [illegible]ie Trommel gelangt, noch durch [illegible]mkreide durchzuziehen.

[illegible], insbesondere aber jene, [illegible] werden, sind mit der [illegible] Beimischungen von [illegible] auf das strengste zu [illegible] sollen, müssen

Zur Imprägnierung der stärkeren Leitungen und Kabel verwendet man meistens Mischungen (Compounds), welche zumeist aus Leinöl, Paraffin, Holztheer, Steinkohlentheer, Pech, Kolophonium und anderen isolierenden Körpern bestehen.

In erster Linie muss von jedem zur Imprägnierung zu verwendenden Körper verlangt werden, dass er einen möglichst hohen Isolationswiderstand besitzt, und letzterer darf bei Temperaturdifferenzen keinen grossen Schwankungen unterliegen; ferner muss die Imprägniermasse vollkommen säurefrei sein, denn durch Säuren wird die Kupferader angegriffen und zerstört. Endlich muss die Imprägniermasse ein Gefüge aufweisen, welches ihr im trockenen, erkalteten Zustande bleibende Zähigkeit und Biegsamkeit sichert. Ist letzteres nicht der Fall, sondern die Isoliermasse brüchig, so reissen beim Biegen der damit imprägnierten Leitung die Fasern der Umspinnung, nach wiederholtem Biegen bröckelt die Imprägniermasse aus und der metallische Leiter ist an solchen Stellen abermals dem Eindringen der Feuchtigkeit ausgesetzt.

Schliesslich ist noch die spezifische Induktionskapazität der Imprägniermasse in Rücksicht zu ziehen. [1]) Bei der Imprägnierung von Telegraphen- oder Telephonkabeladern darf die Bedeutung dieser Grösse auf keinen Fall unterschätzt werden.

Hinsichtlich ihres Zweckes lassen sich bei der Imprägnierung zwei Hauptmethoden unterscheiden. Entweder die Imprägniermasse soll alle innerhalb der Isolierschicht befindlichen Hohlräume ausfüllen und die darin enthaltene Luft und Feuchtigkeit verdrängen, oder ihr Hauptzweck besteht darin, dass sie über der Isolierhülle einen wasserdichten Überzug bilden und sie vor der Zerstörung durch Fäulnis schützen soll. Im ersteren Falle muss man die Imprägniermasse in leicht flüssigem Zustande verwenden, damit ihr die Möglichkeit geboten wird, in die kleinsten Hohlräume einzudringen. Um den letzten Rest von Luft und Feuchtigkeit aus diesen Hohlräumen zu entfernen, genügt es aber nicht, die zu imprägnierende Leitung einfach durch die einer hohen Temperatur ausgesetzte Masse durchzuziehen, sondern die Leitung muss längere Zeit in der Imprägniermasse verbleiben, bis die Feuchtigkeit aus derselben in Form von Dämpfen und die Luft als aufsteigende Blasen entwichen sind. Zu diesem Zwecke legt man die in Ringen lose aufgewickelte Leitung in einen Kessel, welcher mit der Masse so weit gefüllt ist, dass die versenkten Ringe vollständig eintauchen; sodann bringt man die Masse zum Sieden und kocht die isolierte Leitung darin so lange, bis alle Luft und

---

[1]) Die Kapazität der Imprägniermasse bezogen auf jene der Luft (0^{0}; 760 *mm*); siehe Prasch-Wietz, die elektrotechnischen Masse, Leipzig 1896, Seite 79.

Feuchtigkeit entwichen, und man kann annehmen, dass dies der Fall ist, wenn die kochende Masse keine Luftblasen mehr aufwirft. Bei der Herstellung von Bleikabeln werden übrigens noch ganz andere Hilfsmittel angewendet, um die in den isolierten Leitungen enthaltene Feuchtigkeit und Luft zu entfernen. Es wird dies bei der Besprechung der Bleikabelfabrikation des näheren erörtert werden. Die oben erwähnte Prozedur des Kochens beim Imprägnieren kann selbstverständlich nur dann angewendet werden, wenn die Isolierschicht dadurch keinen Schaden leidet, und es ist diese Methode auch bei einer aus Guttapercha oder Gummi bestehenden Isolierung, wie sich später zeigen wird, nicht anwendbar.

Bei der zweiten Art der Imprägnierung, bei welcher die Imprägniermasse mehr einen mechanischen Schutz der Isolierhülle vorstellen soll und sonach auch ihr Eindringen in die feinen Zwischenräume der Isolierung erst in zweiter Linie in Betracht gezogen werden kann, ist die Leichtflüssigkeit der Masse nicht nur nicht nötig, sondern sogar nachteilig, denn die Masse soll, da sie nicht allzu sehr in die Isolierung einzudringen vermag, nicht wieder abtropfen, sondern haften bleiben. Die zu dieser Art der Imprägnierung verwendeten Mischungen, die sogenannten Compounds, bestehen meistens aus einem Gemisch von Steinkohlentheer, Pech und auch Asphalt, welche Bestandteile in einem derartigen Verhältnisse zusammengerührt werden, dass sie eine dicke, breiige Masse bilden. Diese Masse wird in eigenen heizbaren Behältern auf einer bestimmten Temperatur erhalten und durch Schaufelräder auf die durch den Compoundbehälter durchgezogene Leitung bezw. Kabel gebracht. Die überschüssige Masse wird dann vom Kabel abgestreift und letzteres mit kaltem Wasser bespritzt, damit sich die am Kabel haftende Imprägnierung rascher abkühlt und erstarrt. Hierauf wird das Kabel, wenn es nicht noch weiter isoliert oder armiert werden soll, direkt auf die Trommel gewunden. Ist die Imprägnierung nicht vollständig erstarrt, so kommt es vor, dass die einzelnen Windungen des auf der Trommel aufgewickelten Kabels an einander kleben, wodurch beim Wiederabrollen desselben leicht die Isolierhülle beschädigt werden kann. Um diesem Nachteile zu begegnen, pflegen einige Firmen das aus dem Compoundbehälter kommende Kabel, bevor es auf die Trommel gelangt, noch durch ein Bad von Kalkmilch oder Schlämmkreide durchzuziehen.

Die Imprägniermassen im allgemeinen, insbesondere aber jene, die im leichtflüssigen Zustande verwendet werden, sind mit der äussersten Vorsicht zu behandeln, und zufällige Beimischungen von leitenden Körpern oder etwaige Ansäuerung auf das strengste zu verhüten. Die Gefässe, welche die Masse aufnehmen sollen, müssen

vor Rost geschützt und vor jedesmaligem Gebrauch sorgfältig gereinigt werden; dasselbe gilt von allen Werkzeugen und Instrumenten, welche beim Mischen, Rühren oder bei anderen Anlässen mit der Masse in unmittelbare Berührung kommen.

Die Umpressung.

Es wurde bereits erwähnt, dass man durch eine gute Imprägnierung im Stande ist, eine isolierte Leitung gegen Feuchtigkeit dauernd zu schützen. Dies ist aber nur dann möglich, wenn es sich thatsächlich nur um Feuchtigkeit handelt, wogegen die Imprägnierung, wenn sie noch so gut ist, gegen ausgesprochene Nässe doch niemals einen verlässlichen Schutz bieten kann. — Die grösstenteils aus Fettstoffen und Harzen bestehenden Imprägnierungsmassen, welche alle bei mehr oder weniger hoher Temperatur auf die Leitung gebracht werden und daselbst erstarren, haben doch nicht immer die Zähigkeit und Elastizität, um den vielfachen Biegungen der Leitung folgen zu können, ohne dabei vielleicht an einigen Stellen zu reissen oder sich abzubröckeln, wodurch die Isolation der Leitung natürlicherweise wesentliche Einbusse erleiden muss. Die Erfahrung lehrt, dass jeder noch so geringe Isolationsfehler mit der Zeit grösser wird und daher schon anfangs einen wichtigen Faktor für die Dauer der Betriebsfähigkeit der Leitung bildet. — Man kommt häufig in die Lage, Kabel in nasses Erdreich oder direkt ins Wasser verlegen zu müssen, und in diesem Falle muss man an den Isolationswiderstand des Kabels die grössten Anforderungen stellen, wobei wohl zu bedenken ist, dass es nicht allein genügt, wenn das Kabel während oder unmittelbar nach seiner Fabrikation einen genügend hohen Isolationswiderstand besitzt; letzterer muss vielmehr während des Betriebes auf einer möglichst konstanten Höhe erhalten werden können. Für solche Fälle ist die Imprägnierung der Leitung allein nicht mehr ausreichend; man muss den metallischen Leiter dann mit einer homogenen, durchaus wasserdichten und dabei biegsamen, zähen, gut isolierenden Hülle umkleiden. —

Zu diesem Zwecke eignet sich ganz besonders die Guttapercha, welche im Jahre 1843 durch Dr. Montgomerie nach Europa gebracht wurde.[1])

Dr. Montgomerie hatte beobachtet, dass die Malayen von einem auf Singapore heimischen Baume einen eigentümlichen Stoff gewannen, aus welchem sie allerlei Gegenstände, wie Reitgerten, Gefässe u. a., verfertigten, die sich durch eine gewisse Elastizität bei grosser Widerstandsfähigkeit des Materiales auszeichneten. Im Jahre 1844 wurde

---

[1]) Vergl. Kuhn, Elektrizitätslehre S. 744 und Poggendorf, Annalen 74, S. 157.

die erste grössere Quantität, 100 *kg*, von diesem Stoffe nach Europa gesendet, und im folgenden Jahre exportierte Singapore schon über 10 Tonnen.

Mehrere Jahre nach der Einführung der Guttapercha wusste man noch nichts über die Natur des Baumes, aus dem dieselbe gewonnen wird. Erst im Jahre 1847 war Sir W. S. Hooker im Stande, die Pflanze nach einigen von Dr. Oxley nach England geschickten Exemplaren zu beschreiben. Er erkannte dieselbe als eine Species der Gattung Isonandra, dem Geschlechte der Sapotaceen angehörig, und schlug vor, dieselbe Isonandra gutta zu benennen. Der Baum, welcher hauptsächlich in den Gebirgen von Singapore, auf Borneo und verschiedenen malayischen Inseln heimisch ist, jedoch auch auf wenigen anderen tropischen Inseln vorkommt, wird nach Dr. Oxley 14—24 *m* hoch, und der Stamm erreicht einen Durchmesser von 1½—2 *m*.[1]) Am besten gedeiht derselbe in angeschwemmtem Lande, am Fusse von Gebirgen. An der Rinde des Baumes finden sich schwarze Linien, unter welchen die Milchsaftkanäle verlaufen. Der Milchsaft dieses Baumes, welcher wenige Minuten, nachdem er gesammelt ist, sowohl an freier Luft als auch in verschlossenen Gefässen gerinnt, ist in getrocknetem Zustande die Guttapercha. Zur Gewinnung dieses Milchsaftes hieben die Malayen die Bäume um und machten dann in Entfernungen von 30—40 *cm* ringförmige Einschnitte in die Rinde, aus denen der Milchsaft ausfloss und in Gefässen aus Kokusnusschalen aufgefangen wurde. Während früher bei dieser verwüstenden Art der Gewinnung, bei welcher vom Beginne des Jahres 1845 bis Ende 1847 allein über 69000 Bäume geschlagen wurden, aus einem gefällten Stamme nur 10—15 *kg* Guttapercha gewonnen werden konnten,[2]) lernte man später, dass man den Milchsaft auch, ähnlich der Harzgewinnung aus Tannen, aus lebenden Bäumen ziehen und auf diese Weise weit grössere Quantitäten von Guttapercha aus einem Stamme gewinnen könne.

Die Guttapercha kommt in rohen Broten in den Handel, in welchen noch ein grosser Teil verunreinigender Stoffe, als Baumrinde, Sand u. dgl., enthalten sind. Die Farbe des Rohstoffes hat einen fleischfarbigen, ins Gelbliche oder Grauliche spielenden Ton, und ein Schnitt durch die gummiartige Masse weist ein geschichtetes Gefüge auf. Die besten Sorten, die im Handel vorkommen, sind fast weiss, mit einem Stich ins Rötliche oder Gelbliche, in dünnen Platten durchscheinend und fühlen sich fettig an. — Das spezifische Gewicht der käuflichen Guttapercha ist nach Soubeiron[3]) im Mittel gleich 0.98.

[1]) Dingler, Journal 108, 388.
[2]) Muspratt, Technische Chemie, III. Bd., S. 1662.
[3]) Dingler, Journal 103, 415.

Die Leitungsfähigkeit der Guttapercha für Wärme und Elektrizität ist ausserordentlich gering. Mit steigender Temperatur nimmt der elektrische Leitungswiderstand der Guttapercha ab, und zwar sinkt derselbe bei einer Erwärmung der Guttapercha um 5⁰ auf die Hälfte seines ursprünglichen Wertes. Der elektrische Widerstand der Guttapercha ist ausserdem noch von der Zeit abhängig, während welcher ein elektrischer Strom durch die Masse fliesst. Im allgemeinen nimmt der Widerstand der Guttapercha durch strömende Elektrizität zu, und diese Widerstandszunahme ist um so grösser, je länger der Strom einwirkt und je niederer die herrschende Temperatur ist. Durch Druck vermehrt sich der Widerstand der Guttapercha ebenfalls, und es ist die Vermehrung des Widerstandes mit der Zunahme des Druckes direkt proportional. Aus diesem Grunde eignet sich die Guttapercha ganz besonders zur Isolierung von Tiefseekabeln.

Schon durch Erwärmung auf 25⁰ C. wird die Guttapercha biegsam; bei 48⁰ beginnt sie zu erweichen; zwischen 55 und 60⁰ wird sie vollkommen plastisch, und bei 120⁰ schmilzt sie und bildet eine leicht bewegliche Flüssigkeit.

Die Anwendung der Guttapercha als Isoliermittel, welche, wie aus dem historischen Überblicke Seite 4 bereits bekannt, Werner Siemens zu verdanken ist, bietet namentlich bei unterseeischen Leitungen die grösste Sicherheit, da die Guttapercha, abgesehen von ihrem hohen Isolationswiderstande, erwärmt, sich als bildsamer, zäher Teig leicht um Drähte pressen lässt und auch vom Wasser in keiner Weise angegriffen wird. Die von Werner Siemens konstruierte Guttaperchapresse sowie das Verfahren bei der Reinigung und Verarbeitung der Guttapercha ist im Prinzipe bis auf den heutigen Tag gleich geblieben.

Die rohen Guttaperchablöcke werden zuerst klein geraspelt und in heissem Wasser eingeweicht, wobei sich Sand und andere verunreinigende Beimischungen zu Boden setzen, sodann in warmem Wasser zwischen Rauhwalzen klein gerissen, und schliesslich wird die schwammige Masse mittels starker hydraulischer Pressen durch ein Drahtsieb getrieben, um die Verunreinigungen vollends zu entfernen. Man lässt nun die Substanz ohne Wasser so lange unter beständigem Zusammenschlagen durch die gerippten Walzen einer Knetmaschine gehen, bis sie ein chokoladebraunes, ganz gleichmässiges Aussehen hat, und bringt sie dann, durch Wärme gehörig erweicht, in die Guttaperchapresse. (Fig. 22.)

In einem starkwandigen, eisernen Cylinder *a*, der mittels Dampfes erwärmt wird, bewegt sich ein Kolben, der durch eine von Dampfkraft getriebene Schraube langsam fortgetrieben wird. An dem vorderen Teile des Cylinders befindet sich ein massiver Kopf mit dem

zur Durchführung des zu umpressenden Drahtes bestimmten Mundstücke. Der zu umpressende Draht *c* wird von unten durch ein starkes Metallstück *d* hindurchgeführt, so dass die Guttapercha, welche durch den Kolben aus dem Inneren des Cylinders *a* durch den konischen Raum *b* herausgepresst wird und bei *e* mit dem Drahte aus dem Mundstücke hervortritt, den Draht innig und konzentrisch umschliesst.

Beim Einbringen der Masse in den Cylinder muss hauptsächlichst darauf gesehen werden, dass keine Luft in die Guttapercha eingeschlossen wird, da sonst im Guttaperchamantel Luftblasen vorkommen, durch welche das Fabrikat geschädigt wird. Der zu umpressende Draht wird vor seinem Eintreten in den Cylinder durch sogenanntes Chatterton-Compound hindurchgezogen, eine Mischung aus 65 % Guttapercha, 25 % Kolophonium und 10 % Holztheer, welche Bestandteile unter beständigem Rühren und Mischen zusammengekocht werden.

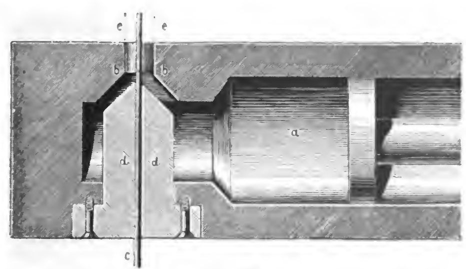


Fig. 22.

Die Chatterton-Compoundlage hat den Zweck, dass sich die Guttapercha fest an den Draht anlegt, ohne dass hierbei Luftblasen eingeschlossen werden können. Die nahtlose Umpressung kann ohne Unterbrechung und auch bei mehreren Drähten gleichzeitig auf ein und derselben Maschine vollzogen werden. —

Es geschieht dies mittels Maschinen, bei welchen die Guttapercha durch zwei mittels Dampfes zu heizende Presscylinder von zwei Seiten in einen Kasten gepresst wird, durch den gleichzeitig mehrere Drähte zum Umpressen hindurchgeführt werden können. Jeder der beiden Cylinder kann durch einen Hahn gegen den Kasten abgesperrt werden, und hierdurch ist die Möglichkeit geboten, dass, während der eine Cylinder arbeitet, der andere mit Guttapercha frisch beschickt wird, die Maschine ununterbrochen in Thätigkeit erhalten bleibt.

Figur 23 zeigt eine Guttaperchapresse für sechs Drähte in Ansicht und Draufsicht. Die nackten Drähte treten von links in die Maschine ein, passieren vorerst einen Behälter, in welchem sie den Überzug aus Chatterton-Compound erhalten, und gelangen sodann in die eigentliche Presse, welche sie bei *A*, mit dem Guttaperchamantel versehen, wieder verlassen.

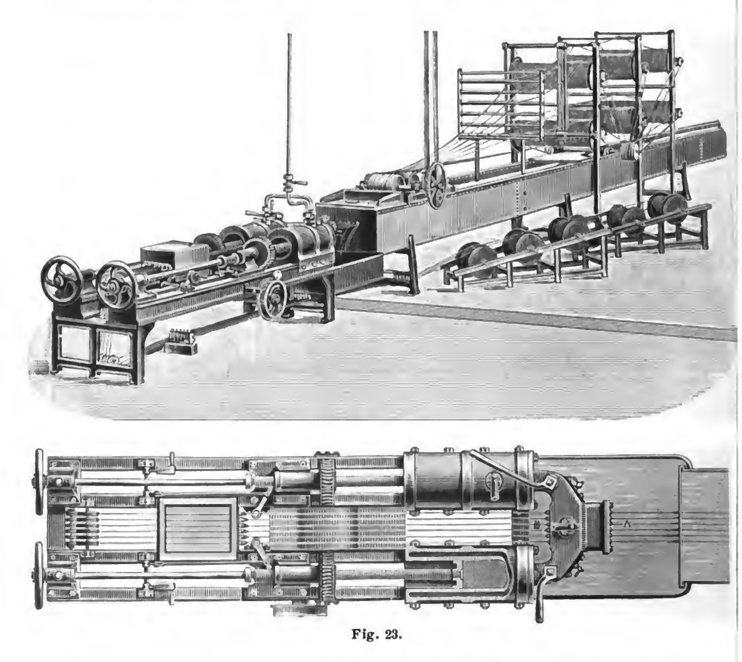


Fig. 23.

Die aus der Maschine austretenden umpressten Drähte werden nun zunächst durch ein Wasserbad geführt, in welchem sich die noch warme Guttapercha abkühlt sowie an Festigkeit gewinnt, und schliesslich wickeln sich die Drähte selbstthätig auf Trommeln auf.

Gerade so wie die Drähte werden auch Drahtlitzen mit Guttapercha umpresst, und in gleicher Weise geschieht auch die Umpressung mit zwei, drei und mehr übereinanderliegenden Guttaperchamänteln; nur muss zwischen je zwei aufeinanderliegenden

Mänteln aus den vorerwähnten Gründen eine Scnicht Chatterton-Compound eingeschaltet werden.

Dieses prinzipiell sehr einfache Verfahren gestaltet sich in der Ausführung aber deshalb schwierig, weil zur Erzielung tadelloser Fabrikate die Behandlung und Zusammensetzung der Guttapercha mit der grössten Sorgfalt geschehen muss.

Infolge der grossen Konkurrenz und der gedrückten Preise kommt es leider nur zu häufig vor, dass die Guttapercha zum grossen Teil durch Surrogate verschiedener Art ersetzt und die Fabrikate verschlechtert werden. — Solche gefälschte Guttapercha-Drähte haben zwar oft anfangs einen sehr hohen Isolationswiderstand, doch ist von ihnen keine grosse Sicherheit zu erwarten, da sie sehr rasch zu Grunde gehen.

So schätzbar die Eigenschaften der Guttapercha in elektrischer und mechanischer Beziehung auch sind, so ist die Anwendung von Guttaperchaleitungen doch eine verhältnismässig beschränkte, denn solche Leitungen müssen vor Temperaturschwankung, vor trockener Luft und vor mechanischen Eingriffen sorgfältig bewahrt werden.

Temperaturschwankungen sind deshalb zu vermeiden, weil nicht nur allein der Isolationswiderstand, sondern auch die materielle Beschaffenheit der Guttaperchaleitungen durch höhere Temperatur sehr gefährdet wird, da die Guttapercha durch Erwärmung leicht erweicht und an der Sonne so weich werden kann, dass der metallische Leiter einer horizontal verlegten Guttaperchaleitung infolge seines höheren specifischen Gewichtes einfach durchsinkt. — Wird eine derart isolierte Leitung der trockenen Luft ausgesetzt, so entweichen die in der Guttapercha enthaltenen flüchtigen Öle, wodurch die Guttapercha bald brüchig wird und sich abbröckelt. Deshalb müssen auch mit Guttapercha isolierte Drähte stets unter Wasser aufbewahrt werden. Schliesslich ist noch ein Umstand zu erwähnen, welcher es erheischt, die Guttaperchaleitungen niemals ohne jedwede weitere Isolier- oder Schutzhülle zu verwenden. Es ist dies deshalb geboten, weil die Guttapercha infolge ihrer Weichheit nicht den geringsten mechanischen Eingriffen Widerstand leisten kann und daher der Guttaperchamantel einer solchen Leitung ausserordentlich leicht beschädigt wird. Aus diesem Grunde ist es geboten, die Guttaperchadrähte vor ihrer Verwendung noch mit einer Umspinnung, bezw. Umklöppelung zu versehen, welche überdies noch, um den Luftzutritt zu verhindern, mit einer geeigneten Mischung imprägniert werden kann.

Sollen Guttaperchaadern zu einer Litze vereinigt werden, so ist ein solcher Schutz in manchen Fällen anzuraten, weil die Guttapercha während der Verseilung auf der Maschine der Gefahr des Durchgescheuertwerden sehr ausgesetzt ist.

Aus dem oben Gesagten ist leicht zu entnehmen, dass die Verwendung von Guttaperchaleitungen insofern beschränkt ist, als solche Leitungen mit dauerndem Erfolg in erster Linie nur unter Wasser, in zweiter Linie in sehr feuchten Räumen, in beiden Fällen aber nur bei niederen Temperaturen Verwendung finden können.

Ein anderer Stoff, welchen man zur wasserdichten Umhüllung von elektrischen Leitungsdrähten benutzt, ist der Kautschuk. Im Anfange des vorigen Jahrhunderts kam der Kautschuk in Form von Flaschen und Beuteln nach Europa, doch konnte man über seine Gewinnung nichts näheres erfahren. Der Leiter der französischen Gradmessung in Peru, De la Condamiae, teilte im Jahre 1735 mit, dass der Kautschuk der eingetrocknete Milchsaft einer Pflanze sei.

Nach Schleiden befindet er sich in allen Pflanzen, welche Milchsaft absondern. Insbesondere sind es jedoch die Pflanzenfamilien der Artocarpeen (Ficus elastica in Ostindien), Apocyneen (Urceola elastica auf Sumatra und Borneo) und die Familie der Euphorbiaceen (Siphonia elastica in Südamerika), welche grössere Quantitäten liefern.

Nach den Mitteilungen Brockedon's erreicht die Urceola elastica schon nach 5 Jahren eine Höhe von etwa 68 *m*, einen Durchmesser von $^1/_2$—$^3/_4$ *m* und liefert in einem Jahre 25 bis 30 *kg* Kautschuk. Auch die in grosser Menge in den Ebenen am Amazonenstrome vorkommende Siphonia elastica erreicht bei einem mittleren Durchmesser von 1 *m* eine Höhe von 20—24 *m*.

Die Gefässe, in denen der kautschukhaltige Milchsaft zirkuliert, durchziehen die ganze Pflanze, werden bei der Kautschukgewinnung blosgelegt und der Milchsaft ähnlich der Guttaperchagewinnung aufgefangen. Zu diesem Zwecke wird der Stamm des Baumes angehackt und unterhalb der verletzten Stelle ein Gefäss angebracht, welches den ausfliessenden Milchsaft aufnimmt. Im Laufe weniger Stunden erhält man auf diese Weise von einem Baume beiläufig einen Liter Milchsaft, doch darf diese Prozedur nicht während der Blütezeit des Baumes vorgenommen werden, da derselbe zu dieser Zeit fast keinen Milchsaft liefert.

Der Kautschuk zeichnet sich besonders durch seine grosse Indifferenz gegen chemische Agentien aus, denn durch verdünnte Säuren und konzentrierte Alkalien wird er beinahe gar nicht angegriffen. Er ist weder in kaltem noch in warmem Wasser löslich, doch nimmt er bei längerem Liegen im Wasser 18—26 % Wasser auf, wobei er sein Volumen entsprechend vermehrt. Aus diesem Grunde ist der Kautschuk zur Isolierung von Unterseekabeln nicht verwendbar. An der Luft oxydiert er nach längerer Zeit an seiner Oberfläche; bei einer Temperatur von 120° Celsius schmilzt er unter Verbreitung

eines eigentümlichen Geruches, bleibt dann, auch nach dem Erkalten, weich und klebrig und trocknet erst nach langer Zeit nach und nach aus.

Der Isolationswiderstand des Kautschuk ist weitaus höher als jener der Guttapercha. Während die Messungen von Ayrton und Perry für den Widerstand der Guttapercha bei ihrem Erkalten von 83° auf 44° Celsius 0.5 bis 8.9 Megohm ergaben, fanden die beiden Forscher, dass der Kautschuk bei seinem Erkalten von 90.7° auf 67° einen Widerstand von 1015 bis 5391 Megohm hatte.

Allerdings weichen die erhaltenen Resultate verschiedener Beobachter bedeutend von einander ab, da die chemische Zusammensetzung und moleculare Beschaffenheit der Guttapercha und des Kautschuk nicht immer ganz dieselbe ist; doch ist aus den angeführten Resultaten zu entnehmen, dass der Kautschuk der Guttapercha in Bezug auf seinen elektrischen Widerstand weit überlegen ist.

Die Eigenschaft des geschmolzenen Kautschuk, nach dem Erkalten nicht wieder zu einer festen, biegsamen Masse zu erstarren, macht es unmöglich, Leitungsdrähte mit diesem Stoffe zu umpressen, wie dies mit Guttapercha geschieht. Man ist daher genötigt, den Kautschuk in seinem gewöhnlichen Zustande auf den Draht zu bringen, und dieses Verfahren wird durch die wertvolle Eigenschaft des Kautschuk wesentlich unterstützt, dass zwei unter Druck vereinigte Kautschukflächen fest an einander kleben.

Um den Kautschuk für industrielle Zwecke verwendbar zu machen, muss er meistens erst vulkanisiert werden, d. h. es wird ihm durch Einkneten und nachheriges Erwärmen eine gewisse Menge Schwefel beigemengt, mit welchem er eine chemische Verbindung eingeht. Als vulkanisierte Masse widersteht der Kautschuk viel besser der Oxydation, der Einwirkung des Wassers, der Wärme etc. als im rohen Zustande.

Die Vulkanisierung des Kautschuk hat jedoch die Schattenseite, dass sich der Schwefel mit Kupfer zu Schwefelkupfer, einer chemischen Verbindung von sehr geringer elektrischer Leitungsfähigkeit, verbindet, die wieder das Innere der Kautschukmasse sehr nachteilig beeinflusst. Um nun zu verhüten, dass sich ein mit vulkanisiertem Kautschuk isolierter Kupferleiter an seiner metallischen Oberfläche mit Schwefelkupfer überzieht, was natürlicherweise auch eine Verringerung des Kupferquerschnittes zur Folge hat, wird der blanke Kupferdraht vor seiner Isolierung auf elektrolytischem Wege mit einer Schicht Zinn überzogen.

Zur Isolierung der Leitungsdrähte mit Kautschuk wendete man anfänglich einzig und allein die Umwickelung mit Kautschukbändern an, doch wurde dieses Verfahren durch die von der Firma Siemens Brothers

in London eingeführte longitudinale Kautschuk-Isolierung bald zum grossen Teile verdrängt. Bei dieser Methode, welche füglich auch Umpressung genannt werden kann, wird über und unter dem zu isolierenden Drahte je ein Kautschukband der Länge nach durch die in Fig. 24 dargestellte Vorrichtung hindurchgetrieben, wobei die Bänder durch zwei Rollen an den Draht gepresst und die überstehenden Ränder mittels zweier Kreismesser abgeschnitten werden. Die frischen Schnittflächen kleben dann fest an einander, und der Draht ist hierdurch in eine wasserdichte Kautschukröhre eingeschlossen.

In Fig. 25 ist eine Longitudinal-Kautschuk-Bedeckmaschine der Firma Johnson und Phillips dargestellt, auf welcher gleichzeitig 6 Leitungen und während 10-stündiger Arbeitszeit etwa 20 000 *m* Draht tadellos umpresst werden können.

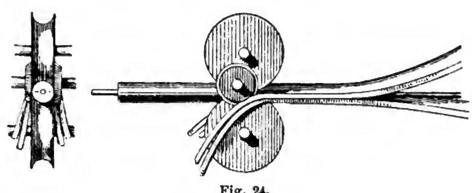


Fig. 24.

Ausserdem wird noch ein drittes Verfahren angewendet, welches aus einer Kombination der beiden vorerwähnten Methoden entstanden ist und zuerst von Hooper ausgeführt wurde.

Nach dem Hooper'schen Verfahren wird der verzinnte Kupferdraht oder die Litze zunächst mit zwei in entgegengesetzten Richtungen spiralförmig um den Leiter gewickelten Lagen von Bändern aus reinem Kautschuk (Paragummi), deren Ränder gut übereinandergreifen müssen, isoliert. Sodann wird die Leitung mit einer einfachen oder doppelten Trennschicht versehen, welche durch spiralförmige Umwickelung von Streifen einer Mischung aus 75 $^0/_0$ Kautschuk und 25 $^0/_0$ Zinkoxyd hergestellt wird. Diese Trennschicht wird dann mit Bändern, die aus einer Komposition von 84 $^0/_0$ Kautschuk, 6 $^0/_0$ Schwefel und 10 $^0/_0$ Schwefelblei bestehen, in longitudinaler Richtung, wie bereits beschrieben wurde, umpresst. Die Trennschicht hat weniger den Zweck, die Isolation der Leitung zu erhöhen, als vielmehr die innerste reine Kautschukisolation gegen die oxydierende Wirkung der äusseren Luft und gegen das Aufquellen im Wasser zu schützen. Das sichere Zusammenhalten der Nähte der letzteren Umhüllung

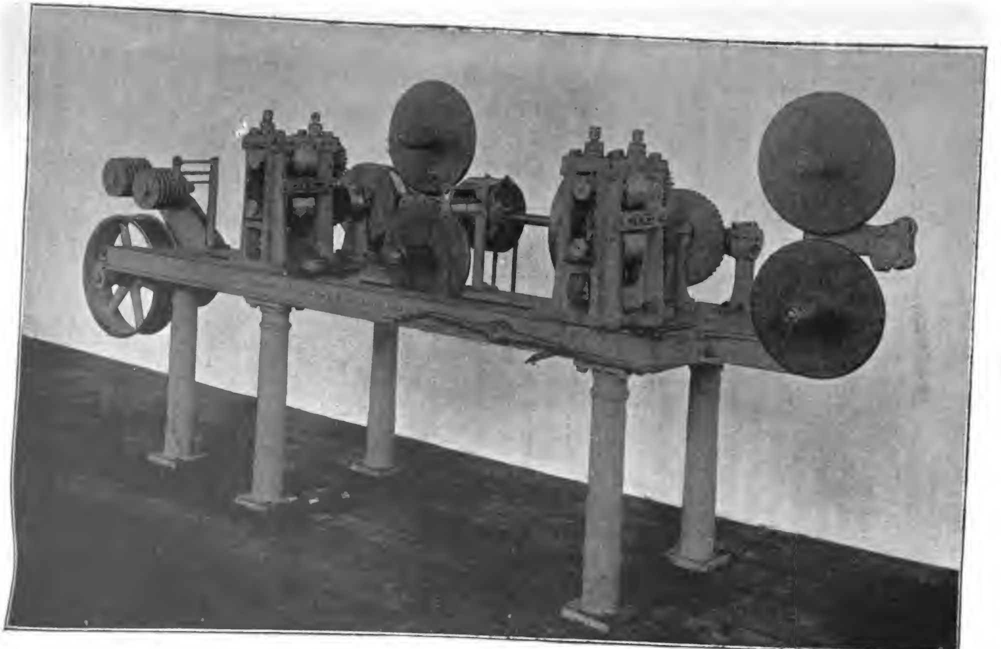


Fig. 25.

wird durch eine spiralförmige Umwickelung der so weit fertigen Leitung mit einem imprägnierten Baumwoll- oder Leinenbande bewirkt.

In diesem Zustande würde eine mit Kautschuk isolierte Leitung noch immer nicht vollkommene Sicherheit gegen das Eindringen von Feuchtigkeit gewähren, da es vorkommen kann, dass sich die Nähte der obersten Kautschuklage an verschiedenen, mehr beanspruchten Stellen doch etwas von einander lösen, wodurch der Feuchtigkeit noch immer genügend Wege zum Vordringen gegen den Kupferleiter gebahnt würden. Um auch diesem Übelstande abzuhelfen, werden die Drähte sorgfältig auf Trommeln aufgerollt, die einzelnen Windungen durch Einstreuen von pulverisierter Kreide oder geriebenem Talg und die einzelnen Schichten durch Einlagen von Jute gegen das Aneinanderkleben geschützt und in hermetisch geschlossenen eisernen Kesseln mittels trockenen Dampfes auf eine Temperatur von 120° Celsius erhitzt. Die aus Kautschuk bestehenden Isolierschichten backen sodann zu einer durchaus homogenen Masse zusammen.

Der Hooperdraht, welcher sich infolge seiner vorzüglichen Qualität rasch sehr beliebt gemacht hat, kann Temperaturen bis zu 60° ertragen, ohne dass die Isolierungsmasse erweichen oder ihr Isolationswiderstand wesentlich herabsinken würde, wie dies bei der Guttapercha der Fall ist, und deshalb empfiehlt er sich hauptsächlich für warme, feuchte Räume und bei allen Gelegenheiten, wo er den Witterungseinflüssen ausgesetzt ist.

III.

Die Armatur.

a. Die Bleiarmatur.

Die vielen Übelstände, die sich bei der unterirdischen Verlegung von Guttaperchadrähten fühlbar machten, veranlassten Werner Siemens, auf ein Mittel zu sinnen, die mit Guttapercha isolierten Drähte in geeigneter Weise gegen aussen zu schützen. Dieses Mittel hatte Siemens gefunden, indem er es versuchte, seine Guttaperchadrähte mit einem Bleiüberzuge zu versehen. Um dies zu bewerkstelligen, verfuhr er anfangs folgendermassen: Es wurde eine Bleiröhre von 50—60 *m* Länge gerade ausgestreckt, dann eine Hanfschnur mittels eines Gebläses durch sie hindurchgeblasen und mit ihrer Hilfe der mit Guttapercha isolierte Draht in das Rohr hineingezogen. Darauf liess man das Rohr durch ein Zieheisen gehen, um es zum festen Anschlusse an die Isolierschicht des Leiters zu bringen. Dieses

primitive Verfahren wurde von Siemens jedoch bald verlassen, da sich solche Bleikabel nicht bewährten. Abgesehen von der Umständlichkeit des Einziehens der Leitungen in die Bleirohre und von der Schwierigkeit, die Lötungen, welche die einzelnen kurzen Fabrikationsstücke mit einander verbinden sollten, gut und ohne Beschädigung der Isolation herzustellen, blieb noch ein sehr wesentlicher Mangel bestehen. Es war nämlich nicht zu vermeiden, dass die Leitung beim Einziehen der Luft ausgesetzt wurde und sich infolgedessen eine Schicht Feuchtigkeit auf der Oberfläche derselben niederschlug. Ebenso konnte man die innere Wand des Bleirohres nicht von Feuchtigkeit freihalten, und so wurde eine wenn auch geringe Menge Wasser in das Bleikabel eingeschlossen, das allmählich durch die isolierende Hülle drang und die Isolation an einzelnen Stellen aufhob. — Diese Mängel liessen Werner Siemens nicht ruhen, bis es ihm endlich gelang, eine Maschine zu konstruieren, mittels welcher er im Stande war, das Blei direkt um den isolierten Draht zu pressen, wenn das Blei genau eine bestimmte Temperatur angenommen hatte und auf derselben erhalten wurde. Im Principe glich diese Maschine der in Fig. 23 dargestellten Guttaperchapresse, nur dass entsprechend dem aufzuwendenden gewaltigen Drucke, unter welchem das Blei wie eine bildsame Masse in Bewegung gebracht werden musste, die Dimensionen viel grösser waren und der Kolben, welcher auf das Blei drückte, durch eine hydraulische Presse bethätigt wurde. Dieses Verfahren brachte nicht nur den Vorteil, dass das Blei mit sicherer Vermeidung von jeder eingeschlossenen Feuchtigkeit auf die Leitung gebracht wurde, sondern es ermöglichte auch die Herstellung erheblich längerer Fabrikationsstücke ohne jede Lötstelle.

Solche, mit einem Bleimantel umgebene Leitungen wurden zuerst von Siemens & Halske vielfach verlegt. Diese Bleiröhren entziehen die isolierende Guttapercha sowohl dem Zutritte der Luft als auch der Feuchtigkeit und bieten der Guttapercha auch einigen Schutz gegen mechanische Eingriffe.

«Selbst den Fall angenommen,» sagte Siemens, [1] «die Guttaperchahülle wäre undicht und isolierte unvollkommen, oder bestände aus schlechtem Materiale, so würde dennoch die Isolation der Drähte so lange durchaus vollständig bleiben, als die Bleiröhre sich erhielte. Über die Erhaltung des Bleies in der Erde liegen aber alte Erfahrungen vor. In reinem Sand- oder Thonboden, welcher keine vegetabilischen Bestandteile enthält, hat es sich Jahrhunderte, ja Jahrtausende lang gut erhalten. Durch die Einwirkung des Sauerstoffes der Luft bildet sich zwar auch in gewisser Tiefe des Erdbodens noch eine Oxydhaut

---

[1]) Dub, Die Anwendung des Elektromagnetismus, S. 168.

auf der Oberfläche des Bleies, doch nur in dem Falle dringt diese Zersetzung tiefer ein, wenn ein gleichzeitiger Zutritt von Kohlensäure die Bildung von Bleiweiss möglich macht. Wenn man bei dem Eingraben der Bleiröhren einige Sorgfalt darauf verwendet, dass keine vegetabilischen Bestandteile in die unmittelbare Umgebung des Drahtes kommen, so kann man auf die lange Erhaltung selbst dünner Bleiröhren mit Sicherheit rechnen. Sollte aber auch durch irgend einen Umstand das Blei irgendwo zerstört und die Guttapercha blosgelegt werden, so würde die gute Isolation des Drahtes nur dann gefährdet sein, wenn dieselben Einflüsse, welche das Blei nach und nach zerstörten, in gleicher Weise auf die Guttapercha wirkten, was bei der gänzlichen Verschiedenheit der Substanzen wohl nur in äusserst seltenen Fällen oder nie der Fall sein kann. Der Bleiüberzug verhindert ferner die leichte Beschädigung des isolierenden Guttapercha-Überzuges auf dem Transporte und beim Einlegen, er macht dennoch stattgefundene Beschädigungen leichter erkennbar und entzieht die Guttapercha auch bei nicht tiefem Einlegen gänzlich dem Einflusse der Luft. Die Guttapercha muss sich, auch wenn sie von schlechter Beschaffenheit ist, in der sie allen äusseren Einflüssen entziehenden Bleiröhre vollständig gut erhalten. Das in verbrannter Guttapercha enthaltene flüchtige Öl, durch dessen Verflüchtigung die Masse auch im Erdboden bald erhärtet und brüchig wird, kann durch die enganschliessende Bleihülle nicht entweichen, bleibt daher in der Guttapercha und erhält sie biegsam.»

Die Qualität der mit Guttapercha umpressten Drähte wurde durch die allmähliche Vervollkommnung des dabei angewendeten Verfahrens immer besser, der Absatz an solchen Drähten immer grösser und in natürlicher Folge davon der Preis der Guttapercha immer höher. Allerdings war der Guttapercha durch die Verwendung des Kautschuk eine Konkurrenz erwachsen, allein wegen seiner schwierigen Behandlung wurden derartig isolierte Drähte auch sehr verteuert und fanden deshalb viel weniger Anwendung als die Guttapercha-Drähte.

Wenn nun auch der Kostenpunkt bei Anwendung von Guttapercha-Drähten beispielsweise bei den grossen unterseeischen Kabellinien nicht in Betracht kommen konnte, so war doch die Kostenfrage, wenn es sich um anderweitige elektrische Anlagen handelte, eine sehr wesentliche. Durch den Aufschwung, den die elektrische Beleuchtungstechnik mit Anfang der Achtziger-Jahre nahm, sahen sich die Fabrikanten elektrischer Leitungen vor die Frage gestellt, ob sich nicht Leitungen herstellen liessen, welche in Bezug auf ihre Isolierfähigkeit die Guttaperchaleitungen erreichten, in der Herstellung aber wesentlich billiger kämen. Die Lösung dieser Frage wurde darin gefunden, dass man den Kupfer-Leiter mit einem dichten Fasergespinnst isolierte, daraus

durch gute Imprägnierung die Feuchtigkeit und Luft entfernte und sodann mit einem Bleimantel umpresste.

Das Verfahren, welches gegenwärtig bei der Herstellung solcher Bleikabel angewendet wird, ist folgendes:

Der Kupferleiter wird zunächst auf der hierzu geeigneten Maschine mit Jute mehrfach dicht umsponnen, so dass die Dicke der Umspinnung zum Kupfer-Durchmesser in einem entsprechenden Verhältnisse steht. Hierbei ist hauptsächlich darauf zu achten, dass die Umspinnung überall genau cylindrisch ist, an allen Stellen gleich grossen Durchmesser und eine möglichst glatte Oberfläche besitzt. Die umsponnenen Kabel werden hierauf in einem eisernen, um seine vertikale Achse drehbaren Korbe in losen Spiralen aufgewickelt und samt dem Korbe in ein gusseisernes, hermetisch verschliessbares Gefäss versenkt. Daselbst werden die Kabel durch Heizung des Gefässes in trockener Luft hohen Temperaturen ausgesetzt, so dass die innerhalb der Umspinnung etwa enthaltene Feuchtigkeit verdampft. Das Gefäss wird nun mittels einer Luftpumpe evakuiert und dadurch die darin befindliche heisse Luft sowie die Wasserdämpfe entfernt. Dieses Verfahren wird so lange fortgesetzt, bis sämtliche Feuchtigkeit und Luft, soweit es im Bereiche der Möglichkeit liegt, aus den Kabeln entfernt ist.

Mittlerweile wird in einem ganz gleichen Gefässe, welches mit dem erst erwähnten durch ein abzuschliessendes Rohr kommuniziert, die Imprägniermasse vorbereitet. Die hierzu verwendeten Massen besitzen verschiedene Zusammensetzungen, ihre Hauptbestandteile sind jedoch gewöhnlich Leinöl und entwässertes Harz, bezw. Kolophonium. Das Leinöl wird zuerst auf eine sehr hohe Temperatur gebracht und auf derselben so lange erhalten, bis es eine braune Farbe und eine syrupartige Konsistenz angenommen hat; sodann fügt man eine gewisse Quantität Kolophonium hinzu und rührt diese Mischung tüchtig durcheinander. (Manche Firmen geben dieser Masse noch Zusätze von Paraffin.) Nun wird diese Mischung so lange gekocht, bis sie ganz dünnflüssig geworden ist und keine Luftblasen mehr aufwirft.

Ist die Imprägniermasse so weit vorbereitet, so öffnet man den Hahn des Kommunikationsrohres, welches die Verbindung mit dem unter Vakuum stehenden, mit den Kabeln gefüllten Gefässe herstellt. Nun stürzt die kochende Masse mit grosser Vehemenz in das letztere Gefäss, dringt in die Umspinnung der Kabel ein und füllt alle daselbst befindlichen Hohlräume aus. Hierauf wird der vorerwähnte Hahn wieder geschlossen. Das Kochen der Imprägniermasse wird nun noch längere Zeit fortgesetzt, wobei man auch trockene Luft in das Gefäss einzupumpen pflegt, um die Isolier-

masse bis in das Innerste der Isolierhülle hineinzupressen; sodann lässt man die Temperatur allmählich sinken. Ein Auf- und Nieder-

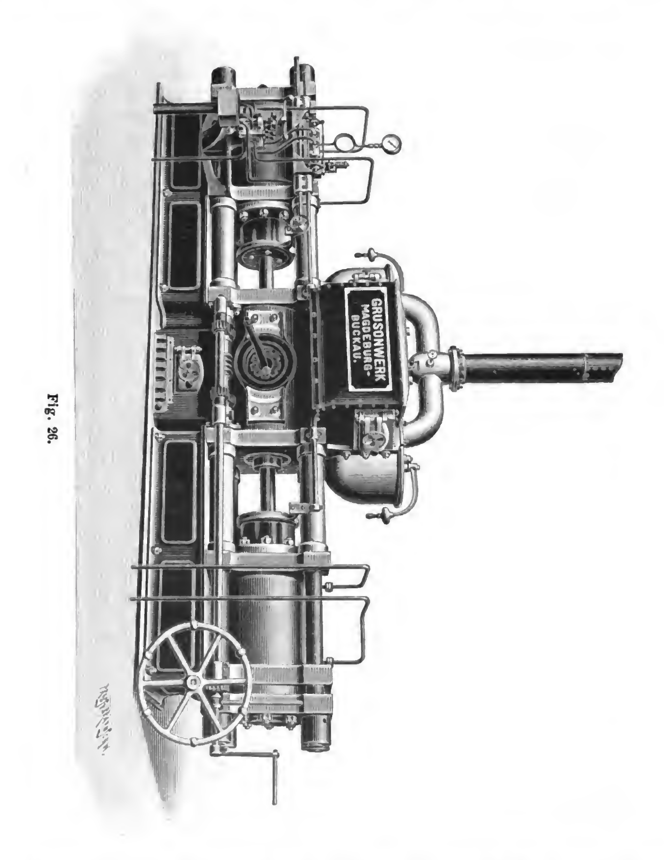


Fig. 26.

schwanken der Temperatur ist hierbei zu vermeiden, denn die isolierenden Körper der dünnflüssigen Masse, welche in die Poren der Umspinnung eingedrungen sind, setzen sich daselbst fest und

erstarren langsam bei sinkender Temperatur; steigt die Temperatur jedoch wieder, so werden auch diese isolierenden Körper wieder leicht flüssig und strömen aus der Kabelisolierung heraus. Die hierdurch notwendigen Volumsänderungen der Isolierung sind im Stande, die Qualität des fertigen Kabels nachteilig zu beeinflussen.

Ist die Temperatur im Gefässe bis auf etwa 100° C. gesunken, so öffnet man das Gefäss und geht sofort an die Umpressung. Eine Type der hierzu dienenden Maschinen, die Kabelpresse, ist in Fig. 26 dargestellt, wie sie nach dem »Patente Huber« vom Grusonwerke der Firma Fried. Krupp konstruiert wird.

Die Maschine besteht aus zwei horizontalen, einander gegenüber liegenden kräftigen hydraulischen Pressen, deren Cylinder aus Stahlguss bestehen und für einen höchsten Druck von 500000 *kg* berechnet sind. In diesen Cylindern bewegen sich gusseiserne Kolben, auf welchen je ein Pressstempel aus Stahl befestigt ist. Diese beiden Stempel treten rechts und links in die Bohrungen des in der Mitte der Maschine befindlichen Rezipienten ein und pressen bei ihrem Vorwärtsgange die Bleifüllung nach den Mundstücken, welche in der Mitte des Rezipienten in der Weise angeordnet sind, dass sich auf der einen Langseite der Maschine die Eintrittsöffnung für das zu umpressende Kabel befindet, während der Austritt auf der entgegengesetzten Seite erfolgt. Nach dem Auspressen der Füllung werden die Pressstempel durch hydraulischen Druck zurückgezogen und der Ersatz des ausgepressten Blei-Quantums durch direktes Einfüllen flüssigen Bleies aus dem über dem Rezipienten gelagerten Bleikessel geliefert. Letzterer besitzt die Form eines länglichen Troges und fasst etwa 1800 *kg* Blei.

Bei der Herstellung des Bleimantels ist es von grosser Wichtigkeit, dass derselbe durchaus homogen und vollständig wasserdicht ist. Um dies zu erreichen, muss thunlichst reines, oxydfreies Blei verwendet werden. Es sind bei der besprochenen Kabelpresse auch diesbezügliche Einrichtungen getroffen, zufolge welcher alle Verunreinigungen des Bleies im Bleikessel zurückbleiben und der Mantel des Kabels daher frei von allen Beimischungen aus der Presse hervorgehen muss.

Schliesslich sind noch Vorrichtungen vorhanden, mittels welcher es möglich ist, den Mantel vollkommen konzentrisch herzustellen, auf deren nähere Beschreibung jedoch nicht eingegangen werden kann.

Die Leistungsfähigkeit der Maschine richtet sich nach dem Inhalte des Rezipienten und nach der Anzahl der Pressungen, welche in einem bestimmten Zeitraume gemacht werden. Nimmt man an, dass in der Stunde drei Pressungen ausgeführt werden, so entspricht der in zehnstündiger Arbeitszeit erzeugte Bleimantel, da der Rezipient 170 *kg*

Blei fasst, einem Gewicht von 5000 *kg*, was bei den verschiedenen Wandstärken und Kabeldurchmessern selbstverständlich verschiedene Längen ergiebt.

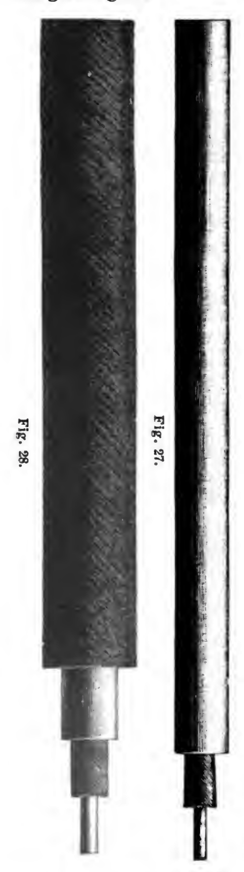


Fig. 28. Fig. 27.

Um das isolierte Kabel zu umpressen, wird es aus dem mit Imprägniermasse gefüllten Gefässe direkt an der rückwärtigen Seite in die Presse eingeführt, von dem sich stetig bildenden Bleirohre, seiner Austrittsgeschwindigkeit entsprechend, mitgenommen und auf der Vorderseite der Presse, mit dem fest anschliessenden Bleimantel (Fig. 27) versehen, herausgepresst und auf eine Trommel aufgewickelt. Das aus dem eisernen, im Vakuumgefässe drehbaren Korbe sich abrollende imprägnierte Kabel darf auf seinem Wege in die Presse weder verunreinigt, noch die Isolierung irgendwie beschädigt werden; es ist also dem Einführen des Kabels in die Presse möglichste Sorgfalt zu widmen. Das so weit fertige Kabel kann sodann zum Schutze des Bleimantels noch mit einer oder zwei in Compound gebetteten Lagen von Juteumspinnung umgeben werden und erhält dann das in Fig. 28 ersichtliche Aussehen.

Man kann auch das Verfahren der Umpressung wiederholen und einen zweiten Mantel um den ersten legen, der entweder direkt auf diesem liegt, oder durch eine Compoundzwischenlage von demselben getrennt ist.

Doppelte Bleimäntel werden beispielsweise bei unterirdischen Kabeln angewendet, weil dieselben, wenn sie nicht durch einen weiteren Jute-Compound-Schutz gesichert sind, durch die organischen Säuren des Erdbodens angegriffen werden

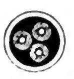
Die Stärke der Bleimäntel lässt man mit der Grösse des Kabeldurchmessers wachsen; es soll dieselbe im Minimum die in nachstehender Tabelle angegebenen Grössen haben:

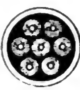
Bis zu einem Kabeldurchmesser von	Wandstärke des Bleimantels
3 *mm*	0.50 *mm*
6 »	0.75 »
12 »	1.00 »
20 »	1.25 »
30 »	1.50 »
40 »	1.75 »
50 »	2.00 »
60 »	2.50 »

Die Umpressung der Kabel mit einem Bleimantel ist übrigens von der Art der Isolierung sowie von der Konstruktion des Kabels vollkommen unabhängig und wird auch bei allen in der Praxis vorkommenden Kabel-Konstruktionen ausgeführt, wenn durch die lokalen Verhältnisse nicht eine andere Armierung geboten erscheint. Bezüglich jener Isolationsmaterialien, welche bei den in der Kabelpresse herrschenden Temperaturen bereits erweichen, wie dies bei der Guttapercha der Fall ist, sei noch erwähnt, dass man dann eigene Kühlapparate bei der Umpressung anwenden muss, um eine Zerstörung der Isolierhülle zu verhindern.


Fig. 29.


Fig. 30.


Fig. 31.

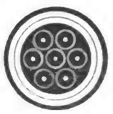

Fig. 32.

In Fig. 29 bis 32 sind die Querschnitte einiger mit imprägnierter Jute isolierten und mit einem Bleimantel umpressten Bleikabel mit 1, 2, 3 und 7 Adern dargestellt. Fig. 33 bis 36 zeigen Guttaperchableikabel wovon in Fig. 35 ein einfacher, in Fig. 36 ein doppelter Bleimantel noch durch eine Jute-Compoundlage geschützt ist.


Fig. 33.


Fig. 34.


Fig. 35.


Fig. 36.

b. Die Drahtarmatur.

Die Armierung der Kabel mit einem Bleimantel gewährt denselben wohl insofern einen guten Schutz, als sie hierdurch gegen das Eindringen von Feuchtigkeit gesichert sind und deren Isolierung vor chemischen Veränderungen und auch vor geringen mechanischen Einflüssen bewahrt bleibt. Einen wirksamen Schutz gegen mechanische Eingriffe kann jedoch der Bleimantel infolge der Weichheit des Materiales unmöglich bieten, denn ein einziger Spatenstich, der ein solches unterirdisch verlegtes Bleikabel trifft, würde genügen, um

nicht nur den Bleimantel, sondern auch die Isolierhülle arg zu beschädigen. — Nachdem aber unterirdisch verlegte Kabel heftigen mechanischen Eingriffen aller Art ausgesetzt sind, so ist es unumgänglich notwendig, solche Kabel mit einem dichten Panzer aus hartem Materiale zu umgeben. Dasselbe gilt auch von Seekabeln; nur kommt bei diesen noch der eine Umstand hinzu, dass dieselben sowohl beim Verlegen, als auch bei dem etwa nötig werdenden Wiederaufnehmen sehr grossen Zugkräften ausgesetzt sind, denen die Kupferleitung und deren Isolierung allein unmöglich Stand halten können. Bei solchen Kabeln muss die Panzerung derart gewählt werden, dass sie nicht nur allen mechanischen Angriffen, die senkrecht zur Achse des Kabels gerichtet sind, widerstehen kann, sondern auch eine grosse absolute Festigkeit besitzt, und dies ist die *Eisen- oder Stahldrahtarmatur*. Eine solche Armatur wird mithin bei allen jenen Kabeln anzuwenden sein, welche, abgesehen von notwendiger Widerstandsfähigkeit nach aussen, grosse absolute Festigkeit haben müssen. Um endlich die für die Armatur verwendeten Eisendrähte, welche spiralförmig um das Kabel herumgewunden werden, auch noch gegen das Rosten zu schützen, werden dieselben stark verzinkt und häufig noch mit einer starken Lage gut imprägnierten Fasergespinnstes umgeben.

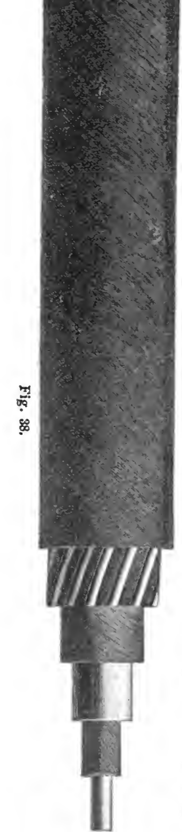


Fig. 38.

Fig. 37.

Je nach den bedingenden Verhältnissen kann die Drahtarmatur entweder eine *offene* oder eine *geschlossene* sein.

Unter offener Drahtarmatur versteht man jene, bei welcher die einzelnen Armaturdrähte nicht dicht an einander liegen, sondern von einander durch einlaufende Hanfschnüre getrennt werden. Fig. 37 zeigt den Querschnitt, Fig. 38 die Ansicht je eines solchen Kabels. Eine derartige Armatur gewährt dem Kabel weniger einen wirksamen Schutz nach aussen, sondern verleiht demselben nur grössere absolute Festigkeit.

Viel besser wird das Kabel durch die geschlossene Drahtarmatur nach beiden Richtungen gesichert, bei welcher die um das Kabel herumgewundenen Drähte eine dicht geschlossene Hülle bilden und

das Kabel gegen aussen vollständig abschliessen. — Während bei der offenen Drahtarmatur nur Drähte von kreisförmigem Querschnitt verwendet werden, unterscheidet man bei der geschlossenen Drahtarmatur dreierlei Typen, und zwar die Runddraht-, die Flachdraht- und die Façondraht-Armatur, welche aus den Figuren 39, 40 und 41 zu entnehmen sind und keiner weiteren Beschreibung mehr bedürfen.

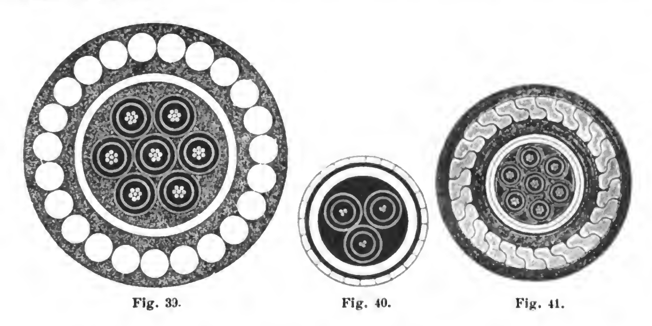


Fig. 39. Fig. 40. Fig. 41.

Bei allen diesen drei Typen ist es ein Haupterfordernis, dass die einzelnen Armaturdrähte nicht nur dicht an einander liegen, sondern sich auch fest gegen die Oberfläche des von ihnen eingeschlossenen Kabels anpressen, da sonst ein Aufsteigen eines einzelnen Drahtes leicht möglich wird, was bei den anderen Drähten an dieser Stelle dann ebenfalls eine Lockerung zur Folge hätte.

Es ist daher eine genaue Ermittelung der Querschnitts-Dimensionen der Armaturdrähte nötig, welche bei der Flachdraht- und Façondraht-Armatur leicht durchzuführen ist, bei der Runddraht-Armatur eine etwas kompliziertere Rechnung nötig macht, welcher die Formel für den Durchmesser des mit einem regulären Polygone umschriebenen Kreises

$$D = S \cdot \frac{1}{\sin \frac{180}{n}}$$

zu Grunde gelegt wird und in welcher D den Durchmesser des umschriebenen Kreises, S die Länge einer Polygonseite und n die Anzahl der Seiten bedeuten. — Die Anwendung dieser Formel ist leicht einzusehen, wenn man für S den Durchmesser eines Armaturdrahtes und für n die Anzahl der Armaturdrähte einsetzt. Dann gilt der für D gefundene Wert für jenen Kreis, welcher durch die

Mittelpunkte der Armaturdrähte gelegt wurde (Fig. 42); hieraus wird der Durchmesser d des zu armierenden Kabels gefunden, wenn man von D noch den Durchmesser S eines Armaturdrahtes abzieht. — Wird also die Dicke der Armatur gegeben, so lassen sich mit Hilfe dieser Formel leicht die übrigen erforderlichen Grössen berechnen.

Die Flachdraht-Armatur hat den Zweck, dem Kabel eine gleichmässig runde Oberfläche zu geben, wobei auch sein Gesamtquerschnitt und sein Gewicht verkleinert wird, ausserdem aber auch die Berührungsflächen der einzelnen Armaturdrähte zu vergrössern. Aus der Flachdraht-Armatur entstand die Façondraht-Armatur, bei welcher die Berührungsflächen der einzelnen Armaturdrähte noch mehr vergrössert und der Schutz infolge des Ineinandergreifens der Drähte der vollkommenste ist, der mit einer einfachen Armatur bis heute erricht werden konnte.

Fig. 43.

Alle diese Arten von Drahtarmaturen pflegt man auch mit einer Jute-Compound-Schicht zu umhüllen. Fig. 43 zeigt die Ansicht eines mit einer in Jute-Compound gebetteten, geschlossenen Runddraht-Armatur versehenen Kabels.

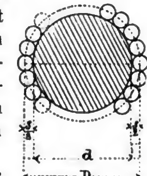


Fig. 42.

Die Maschinen, welche zur Herstellung von Drahtarmaturen dienen, beruhen alle auf dem Prinzipe der Verseilmaschinen. Fig. 44 zeigt eine solche Maschine für 24 Armaturdrähte, wie sie dies bereits mehrfach erwähnte Firma Johnson & Phillips in London zur Armierung von Tiefseekabeln baut. Auf der abgebildeten kräftig gebauten Maschine, welche mit Gegendrehung versehen ist, wird das Kabel erst mit Eisen- oder Stahldrähten armiert, passiert sodann einen Kompoundbehälter, in welchem es eine Compoundlage erhält, worauf es mehrfach mit Jute umsponnen, abermals in Compound getränkt, ein zweites Mal umsponnen und imprägniert, endlich auf die Trommel gewunden wird.



Fig. 44.

c. Die Bandarmatur.

Eine weitere Art der Armierung ist die sogenannte Bandarmatur, welche gewöhnlich aus zwei Lagen in gleicher Richtung über einander spiralförmig um das Kabel gewickelter Eisenbänder besteht, die in der Weise gewickelt sind, dass die Fugen zwischen den einzelnen Windungen des unteren Bandes von dem darüberliegenden Bande bedeckt werden. Übereinandergreifende, in entgegengesetzter Richtung gewickelte Bandlagen lassen sich hier deshalb nicht anwenden, weil das Kabel infolge der Steifheit des Bandes eine schuppenförmige Oberfläche bekäme und beim Biegen des Kabels die Eisenbandbewickelung in Unordnung geraten würde. Damit sich unterhalb der Bandarmatur und zwischen den einzelnen Windungen und Lagen keine Hohlräume bilden, wird auf das Kabel unmittelbar vor seiner Armierung eine dicke Schicht Compound aufgetragen, welche beim Wickeln teilweise hervorgepresst wird und sich dann in den Fugen und zwischen den beiden Bandlagen verteilt. Über die Armierung wird, wie aus der Ansicht in Fig. 45 ersehen werden kann, schliesslich noch eine mehrfache mit Compound imprägnierte Juteumspinnung gelegt, um der Eisenband-Armatur einen sicheren Halt zu geben und sie gleichzeitig vor dem Rosten zu schützen.



Fig. 45.

Fig. 46 zeigt eine Maschine zur Herstellung von Eisenband-Armaturen für unterirdische Lichtkabel, auf welcher gleichzeitig zwei Umspinner und zwei Compoundbehälter angebracht sind. Das Einstellen der Bandwickler, welche in der Zeichnung hinter dem ersten Compoundgefässe abgebildet sind, ist in der Weise vorzunehmen, dass die Bänder mit nicht zu grosser Steigung um das Kabel gelegt werden. Gleichzeitig stellt man die Maschine derart ein, dass die Zwischenräume zwischen den einzelnen Windungen je nach der Breite der Bänder $^1/_3$, $^1/_4$, oder $^1/_5$ der Bandbreite einnehmen und dass die Mitte der zweiten Bandlage genau über die

darunter befindliche Fuge zu liegen kommt. Der Herstellung dieser Armierung stellt sich die eine Schwierigkeit entgegen, dass die Eisenbänder meistens nur in verhältnismässig geringen Längen hergestellt werden und daher ein oftmaliges Vernieten oder anderweitiges Verbinden der einzelnen Bandlängen notwendig wird, was die Arbeit verzögert. Kabel mit Eisenbandarmierungen dürfen auf Zug nicht beansprucht werden, haben aber den Vorteil, dass das Kabel gegen mechanische Angriffe von aussen sehr gut geschützt ist und sich daher sogar ohne weitere Holzkanäle oder andere Vorsichtsmassregeln direkt in die Erde verlegen lässt, wodurch die Kosten der Verlegung wesentlich verringert werden. Die Eisenband-Armierung hat sich in kurzer Zeit rasch eingebürgert und wird heute fast bei allen unterirdisch verlegten Kabeln, welche einen starken Kupferleiter enthalten, der selbst schon genügende Zugfestigkeit besitzt, wie dies bei den Kabeln für elektrische Beleuchtung der Fall ist, mit Vorliebe angewendet.

IV.

Die isolierten Leitungsdrähte.

Bevor zur Beschreibung der elektrischen Kabel geschritten wird, wie sie für die verschiedenen Zwecke der Elektrotechnik angefertigt werden, mögen die isolierten Drähte, welche sowohl als solche bei Installationen elektrischer Anlagen in den verschiedensten Isolie-

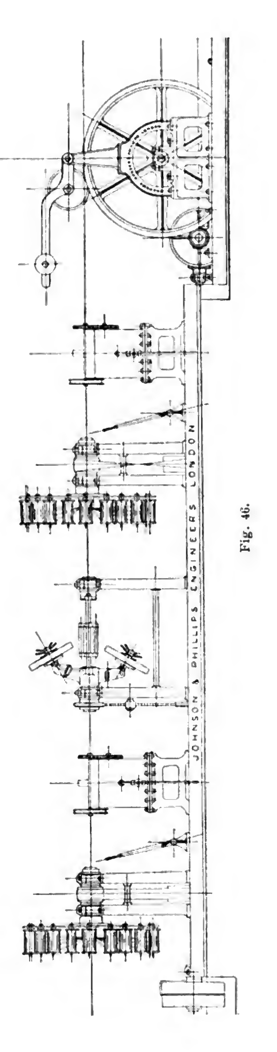


Fig. 46.

rungen als auch in der Form von Kabeladern Anwendung finden, einer übersichtlichen Besprechung unterzogen werden.

Für die Stärke der Drähte ist die Stromintensität massgebend, welcher dieselben ausgesetzt werden; die Isolierung der Drähte hingegen hängt in erster Linie sowohl von der elektrischen Spannung als auch von den lokalen Verhältnissen ihrer Verwendung ab.

Für trockene Räume und geringe Spannungen wählt man gewöhnlich leichtere Isolierungen; man greift zu einfach, doppelt und mehrfach umsponnenen Leitungen, welche man weiter etwa noch durch eine Imprägnierung, eine Gummiband-Umwickelung oder eine einfache oder doppelte Umklöppelung schützen kann.

Zu dieser Art von Leitungen gehören die feinen Widerstandsdrähte, die Tapetendrähte, die einfachen Wachsdrähte, die Dynamodrähte, die isolierten Drähte für Beleuchtungskörper, für Glühlampenabzweigungen, ferner die flammensicheren Leitungen, die Leitungsschnüre etc.

Die schwächsten isolierten Drähte, wie sie zur Wickelung von Spulen für elektrotechnische Instrumente und Apparate, Messinstrumente aller Art, Rheostate, Telegraphenapparate, Telephone und dergleichen gebraucht werden und bei welchen, wie bereits auf Seite 14 erwähnt wurde, die Dicke der Isolierung möglichst gering sein muss, können nur durch eine dichte Umspinnung mit einem möglichst dünnen Garne isoliert werden. Zur Umspinnung solcher Drähte wird Seide, Zwirn und feine Baumwolle verwendet, wobei Drähte von 0,05—0,15 *mm* Durchmesser höchstens eine Lage und Drähte von 0,15 *mm* Durchmesser aufwärts auch zwei Lagen Umspinnung ertragen können. Wenn solche Drähte höheren Spannungen ausgesetzt werden, wie dies beispielsweise bei Telephonspulen, Magnetinduktoren u. s. w. der Fall ist, sichert man dieselben gegen das Durchschlagen gewöhnlich durch eine Imprägnierung mit Paraffin.

Die sogenannten Tapetendrähte, welche für Haustelegraphenanlagen verwendet und auf die Zimmertapeten verlegt werden, sind gewöhnlich nur mehrfach mit Baumwolle umsponnen, deren oberste Schicht in ihrer Farbe dem Grundtone der Zimmertapete angepasst wird. Zu diesem Zwecke werden oft auch Wachsdrähte in verschiedenen Farben verwendet, welche, doppelt mit Baumwolle umsponnen und in Wachs getränkt, wegen ihres geringen äusseren Durchmessers sehr beliebt sind. Diese Art von Drähten hat aber den Übelstand, dass bei ihrer Befestigung mittels Drahtklammern aus leicht erklärlichen Gründen oft grobe Isolationsfehler oder Kurzschlüsse herbeigeführt werden. — Für eine solche Verlegung sind Wachsdrähte mit Seitenlagen (Langfäden) weit eher zu empfehlen, und dieselben werden auch sowohl bei Haustelegraphen-Installationen

als auch für Apparat-Montierungszwecke für Telegraphen- und Telephonanlagen allgemein verwendet.

Derartige Leitungen werden auch mit zwei Adern hergestellt, indem jede derselben mehrfach mit Baumwolle umsponnen wird, sodann beide zusammen in paralleler Lage, etwa mit Seitenlagen, abermals umsponnen und in Wachs oder Asphalt getränkt werden.

Für die allgemein verbreiteten Wachsdrähte hat die Firma Perci & Schacherer in Budapest durch ihren »Patent-Cellulose-Hungaria-Draht« einen Ersatz geschaffen, welcher in neuerer Zeit ebenfalls gern verwendet wird.

Dieser von der genannten Firma patentierte Leitungsdraht besitzt bei vier isolierenden Schichten einen sehr geringen äusseren Durchmesser und dabei einen verhältnismässig hohen Isolationswiderstand, der ihn zur Verwendung bei der Telegraphie und Telephonie, insbesondere wo an die zu errichtende Anlage grosse Anforderungen gestellt werden, sehr geeignet macht.

Die vier isolierenden Schichten bestehen aus zwei Cellulose-Umwickelungen und zwei Baumwolllagen, die mit einer isolierenden Substanz getränkt sind, und erhöhen den Durchmesser eines blanken, 1 *mm* starken Kupferdrahtes auf 2,2 *mm*.

Zur Armaturwickelung von Dynamomaschinen verwendet man gleichfalls umsponnene oder auch umklöppelte Drähte, mit möglichst schwacher und dabei sehr dichter Isolierschicht. Diese Drähte werden 1—4fach mit Zwirn oder Wolle umsponnen und sodann

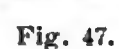


Fig. 47.

entweder in Schellack oder auch in Asphalt imprägniert. Eine wesentlich abweichende Form giebt man diesen Leitungsdrähten dadurch, dass man dieselben behufs bester Ausnutzung des Wickelungs-Raumes nicht mit kreisrundem, sondern sehr häufig mit rechteckigem Querschnitte wählt. Hierbei ist es jedoch von Vorteil, die Kanten der Drähte etwas abzurunden, damit das Garn der Isolierschicht nicht durchschnitten wird.

Für Installationen in trockenen Räumen verwendet man weiter noch Drähte, welche mit Baumwolle umsponnen, sodann mit demselben Materiale umklöppelt und deren beide Isolierschichten mit einer geeigneten Isoliermasse, beispielsweise mit Asphalt, imprägniert sind, Fig. 47, oder man wählt auch eine doppelte imprägnierte Juteumklöppelung.

Um solchen Drähten eine erhöhte Widerstandsfähigkeit und auch einen grösseren Isolationswiderstand zu verleihen, pflegt man sie

auch unterhalb der Umklöppelung mit einem oder mehreren Gummibändern in entgegengesetzter Richtung zu umwickeln. Dieselben werden in dieser Art häufig bei Beleuchtungsinstallationen sowohl innerhalb von Gebäuden als auch im Freien verwendet.

Die flammensicheren Leitungen werden ebenfalls mit Baumwolle umsponnen und umklöppelt, sodann aber mit Wasserglas oder Asbestmasse imprägniert. Diese Leitungen haben die Schattenseite, dass sie sehr hygroskopisch sind und deshalb, um Isolationsfehler zu vermeiden, am besten nur auf Porzellanisolatoren montiert werden sollen.

Die sogenannten Glühlichtdrähte, welche für offenliegende, festmontierte Glühlampenabzweigungen verwendet und deren je zwei zusammengedreht werden, bestehen aus einem verzinnten Kupferleiter, welcher etwa mit Baumwolle umsponnen, sodann mit einem Gummibande umwickelt, abermals umsponnen und schliesslich mit einem festen Garne umklöppelt ist. In ähnlicher Weise werden die biegsamen Glühlichtschnüre für transportable Beleuchtungskörper hergestellt, mit dem Unterschiede, dass der Kupferleiter aus einer Litze von feinen Drähten besteht. Die beiden Adern, welche mit Baumwolle



Fig. 48.

umsponnen, mit einem Gummiband umwickelt und abermals umsponnen sind, werden sodann, wie in Fig. 48 dargestellt, entweder



Fig. 49.

jede für sich umklöppelt und dann zusammengedreht, oder erst zusammengedreht und dann gemeinschaftlich umklöppelt (Fig. 49)



Fig. 50.

oder parallel zu einander gemeinschaftlich umklöppelt. (Fig. 50).

Werden solche Schnüre auch noch dazu verwendet, den Beleuchtungskörper zu tragen, so ist es nicht zulässig, die beiden



Fig. 51.

Leitungen hierzu auszunutzen, es wird dann den beiden Kupferleitungen noch eine gleichartig umklöppelte Hanfschnur oder auch ein dünnes Stahldrahtseilchen (Fig. 51) hinzugefügt.

Die für transportable Ruftaster verwendeten Leitungsschnüre, welche aus zwei oder beliebig vielen Leitern von geringerem Kupferquerschnitte bestehen können, werden gewöhnlich mit gleichzeitig einlaufenden Baumwollfäden mehrfach umsponnen, welche Isolierung für den gedachten Zweck vollkommen ausreicht.

Bei der Wahl der Leitungsmaterialien für feuchte und nasse Räume müssen unter allen Umständen sowohl die herrschenden Temperaturen als auch alle übrigen sich geltend machenden Einflüsse reiflich erwogen werden, nachdem für verschiedene Verhältnisse auch verschiedene Isolierungen notwendig sind.

Sind die feuchten Räume, in welchen die Leitungen verlegt werden sollen, höheren Temperaturen, oder sind die Leitungen den Witterungseinflüssen ausgesetzt, so darf man aus bereits bekannten Gründen auf keinen Fall Guttapercha-Isolierungen, sondern Kautschuk-(Gummi)-Leitungen verwenden.

Zur Isolierung der Gummileitungen kann sowohl vulkanisierter als auch unvulkanisierter Gummi Verwendung finden, doch ist der vulkanisierte Gummi, welcher den Kupferleiter als vollkommen wasserdichte, homogene Röhre umschliesst, vorzuziehen.

Die Isolierung mit vulkanisiertem Gummi bedingt jedoch stets eine Verzinnung des Kupferleiters, um die Bildung von Schwefelkupfer hintanzuhalten. Dieser verzinnte Kupferdraht kann vorher noch mit Baumwolle umsponnen werden, um eine direkte Berührung zwischen dem Kupferdraht und dem Gummi zu vermeiden, wird sodann mit einem reinen Paragummiband, ferner mit einem oder zwei schwefelhaltigen Bändern (Seite 54), schliesslich mit einem in Gummi getränkten Baumwollbande umwickelt, und diese Isolierung wird dem auf Seite 56 besprochenen Verfahren unterworfen. Derartige Leitungen werden dann in einem preservierenden Compound getränkt, oder vorerst noch mit einer guten Umklöppelung versehen und dann in Compound getränkt, zuweilen auch mit einem Bleimantel umpresst.

Solche vulkanisierte Kautschuk- oder Gummileitungen werden von der India Rubber, Gutta Percha & Telegraph Works Company in London in allen Dimensionen und Qualitäten erzeugt. Dieselben besitzen, unter Wasser geprüft, bei einer Spannung von 500 Volt und einer Temperatur von 60° F., nach einer Minute der Elektrisierung je nach ihrer Konstruktion Isolationswiderstände im Minimum von 300—5500 Megohm per stat. Mile und können Temperaturen bis zu 93° Cels. ausgesetzt werden, ohne in elektrischer oder mechanischer Beziehung Schaden zu nehmen.

Die vulkanisierten Gummiadern werden vielfach auch in der Weise hergestellt, dass der Leiter mit einer, zwei oder mehr Lagen

Gummi umpresst (siehe Seite 54), dann mit einer geeigneten imprägnierten Bandumwickelung oder Umklöppelung versehen wird (Fig. 52). Dieses Leitungsmaterial ist allen anderen vulkanisierten Adern vorzuziehen.



Fig. 52.

Für feuchte, warme Räume eignen sich in vielen Fällen auch die mit unvulkanisiertem Gummi isolierten Leitungen, obwohl bei denselben niemals jene Isolationswiderstände erreicht werden können wie bei den vulkanisierten Gummiadern. Diese Art von Leitungen kann, vorausgesetzt, dass zu ihrer Isolierung nur ganz reiner, schwefelfreier Paragummi verwendet wird, auch unverzinnte Kupferleiter enthalten, welche erst mehrfach mit Baumwolle umsponnen, dann mit einer und zwei Lagen Paragummiband umwickelt, abermals umsponnen und mit einer imprägnierten Bandumwickelung oder Umklöppelung umgeben werden. Fig. 53 und 54.



Fig. 53.

Die Verwendung und die Eigenschaften der Guttaperchadrähte, welche sich am besten für die Legung von Leitungen unter Wasser eignen, wurde zum grossen Teile bereits gelegentlich der Besprechung



Fig. 54.

der Erzeugung dieser Drähte behandelt, und es sei deshalb hier nur noch erwähnt, dass dieselben in kühlen, feuchten Räumen verwendet werden können. In diesem Falle müssen sie jedoch, um sie den Einflüssen der Luft zu entziehen, durch mehrfache mit Wachs, Asphalt oder anderen geeigneten Kompositionen imprägnierten Umspinnungen bezw. Umklöppelungen geschützt werden.

V.

Telegraphen-Kabel.

Die oberirdischen Leitungsnetze sind infolge der rasch sich ausbreitenden Telegraphen-, Telephon- und Starkstrom-Anlagen namentlich in den grösseren Städten Amerikas bereits so dicht geworden,

dass dort an einen weiteren Ausbau des Netzes nach dem bisherigen Systeme nicht zu denken ist, umsomehr als das Reissen einzelner Drähte auch schon zu zahlreichen, mehr oder weniger schweren Unfällen Veranlassung gegeben hat. Das erste Auskunftsmittel, welches man gefunden hatte, bestand darin, mehrere Telegraphenleitungen in einem Kabel zu vereinigen, dasselbe über die Dächer der Gebäude hinweg zu führen und derart bis auf die Strassenübersetzungen dem blanken oberirdischen Leitungssysteme und den damit verbundenen Übelständen teilweise aus dem Wege zu gehen.

Auf diese Weise entwickelten sich die sogenannten »Luftkabel«. Als Isolierung der Kabeladern diente gewöhnlich der Kautschuk und eine Baumwollumspinnung. Die einzelnen Adern wurden mit einander verseilt, mit breiten Kautschukbändern und mit getheerten Leinenbändern umwickelt, sodann umklöppelt und entweder mit Theer imprägniert oder auch mit einem Ölanstriche versehen. Von solchen Luftkabeln mit bis zu 79 Adern sind für telegraphische Zwecke in Chicago heute noch 480 Meilen im Betriebe.

Durch die Anlage derartiger Kabel wird allerdings Raum erspart; dieselbe gewährt jedoch weder im Vergleiche mit den blanken oberirdischen, noch mit den unterirdischen Leitungsanlagen irgendwelche Vorteile. Die Luftkabel sind ebenso den Störungen durch Stürme, Schneefälle, Brände u. s. w. ausgesetzt wie die blanken Luftleitungen; die eingetretenen Störungen in den Adern sind zum mindesten nicht leichter zu beheben als bei unterirdischen Kabeln; die Herstellung von Abzweigungen lässt sich auch nicht immer dort ausführen, wo sie gerade am gebotensten wären, und dazu kommt noch, dass die Aufhängung derselben über Strassenzüge hinweg, abgesehen von allen Schönheitsrücksichten, infolge ihres Gewichtes oft grossen Schwierigkeiten begegnet. Alle diese Übelstände, bei jedem Mangel an Vorteilen, machen diese Art der Leitungsanlage überall dort, wo sie nicht durch örtliche Verhältnisse bedingt wird, nicht sehr empfehlenswert, und es soll auch deshalb auf die Beschreibung der Luftkabel nicht näher eingegangen werden.

Ein Leitungssystem, welches jeder oberirdischen Anlage aber weit überlegen ist, ist das unterirdische. Die Gefahren, welche durch die oberirdische Führung von Starkstromleitungen, in denen hochgespannte Ströme fliessen, herbeigeführt werden, sind hinlänglich bekannt, und die Wichtigkeit eines bei jeder Witterung und unter allen Umständen sicheren telegraphischen oder telephonischen Verkehrs bedarf heute, wo diese Verkehrsmittel sich unentbehrlich gemacht haben, keiner weiteren Erörterung.

Die Furcht vor den Schwierigkeiten der Behebung von Störungen in unterirdischen Leitungen ist auch nicht immer begründet, da dieselben, wenn das Kabel gut konstruiert, den Verhäftnissen angepasst

und schliesslich mit leicht zugänglichen Verbindungs- und Abzweigekästen ausgerüstet ist, um so leichter behoben werden können, als diese Störungen in den seltensten Fällen im Kabel selbst auftreten, sondern meistens in den zugänglichen Verbindungsstellen der Adern zu suchen sind und mit Hilfe elektrischer Messungen bezüglich ihrer Beschaffenheit und Lage leicht bestimmt werden können.

Als die Telegraphie noch in den Kinderschuhen war, hatte man ganz richtig erkannt, dass die unterirdische Leitung die beste und verlässlichste ist; es wurden zahlreiche Versuche gemacht, Unsummen von Geld wurden hierauf verwendet, aber leider waren die notwendigen technischen Kenntnisse nicht vorhanden, und man musste auf dieses Leitungssystem eine Reihe von Jahren verzichten. Nachdem die ausgedehnten, in den Jahren 1847 bis 1850 in Preussen ohne äusseren Schutz in den Erdboden verlegten, mit Guttapercha isolierten Telegraphenleitungen durch äussere Beschädigungen, die namentlich von Feldmäusen, Ratten und anderen Nagetieren hervorgerufen wurden, zu Grunde gegangen waren, suchte man sie durch einen Bleimantel zu schützen. Doch auch dieser Versuch schlug fehl, weil die Thiere auch das Blei zernagten und sich dabei überdies herausstellte, dass das Blei, welches sich durchschnittlich im Boden gut erhielt, überall da, wo es mit in Verwesung befindlichen vegetabilischen Stoffen, wie Holz und anderen Pflanzenstoffen, in direkte Berührung kam, bei Luftzutritt rasch in kohlensaures oder essigsaures Blei verwandelt wird, während sich dasselbe in solchem Erdreiche, welches frei von organischen Stoffen ist, Jahrtausende unverändert erhält, wie die Überreste römischer Wasserleitungen, die man noch heute unverändert vorfindet, beweisen. Das Produkt langjähriger Erfahrungen hat zur Erkenntnis geführt, dass ein Asphaltüberzug des Bleirohres und eine darauffolgende Umhüllung desselben mit einer Schicht asphaltierten Gespinnstes, wie Hanf oder Jute, eine völlig sichernde Trennungsschicht bildet. Dieser schützende Überzug des Bleies bedurfte aber selbst wieder eines Schutzes gegen äussere Beschädigungen durch Mensch und Tiere, und man hat zur Eisenarmierung gegriffen, welche entweder aus Drähten oder aus Bandeisen hergestellt und durch eine abermalige Umhüllung mit geteerter Jute vor Oxydation geschützt wurde.

Von der Umhüllung der unterirdischen Telegraphenkabel mit Bleimänteln hat man übrigens in vielen Fällen ganz abgesehen, da das zur Isolierung der Adern verwendete Material, wie Guttapercha und Kautschuk, ohnedies homogen ist und allein schon den erforderlichen Schutz gegen die Einwirkung von Feuchtigkeit bietet. Wenn man nun weiter noch in Erwägung zieht, dass der im vulkanisierten

Kautschuk enthaltene Schwefel auf das Blei einen zersetzenden Einfluss ausübt, so ist leicht einzusehen, dass die Ausrüstung von Telegraphenkabeln, deren Adern mit vulkanisiertem Kautschuk isoliert sind, mit einem Bleimantel geradezu als nachteilig bezeichnet werden kann.

Bei den ersten Telegraphenkabeln bestand der Leiter gewöhnlich nur aus einem einzigen Drahte, doch machte man bei diesen Kabeln bezüglich ihres Leiters nicht gute Erfahrungen. Eine bedeutende Fehlerquelle bildeten die Lötstellen der einzelnen Fabrikationslängen der Adern, wenn dieselben auch noch so sorgfältig hergestellt wurden. Die Lötstelle ist immer spröder als der Draht selbst und zum Brechen geneigt, und ein einziger solcher Bruch machte die ganze Ader und bei einadrigen Kabeln das ganze Kabel untauglich. Bedenkt man nun weiter, dass nicht nur die Lötstellen allein, sondern auch die ungleiche Härte des Drahtes an einzelnen Stellen Querschnitts-Verringerungen zur Folge haben, welche, abgesehen von den Widerstandsänderungen, auch zu Brüchen führen, so ist es leicht einzusehen, dass man auf Mittel sinnen musste, diesen Übelständen abzuhelfen. Es wurden, statt des einzelnen Drahtes, Drahtlitzen vom selben Querschnitte eingeführt, wodurch die Lötstellen in den einzelnen Drähten auf verschiedene Stellen der Litze verteilt und durch einen Bruch oder sonstige Mängel eines Drahtes nicht die ganze Ader, bezw. das ganze Kabel untauglich gemacht wurde. Diese Drahtlitzen werden heute bei kleineren Querschnitten aus drei, fünf oder sieben gleich starken Drähten und bei grösseren Querschnitten aus einer stärkeren Seele, um welche mehrere dünne Drähte herumgewunden sind, hergestellt. Letzteres Verfahren wird meistens bei Seekabeln angewendet, um die Ladungskapazität der Ader dadurch herabzudrücken, weil eine solche Ader eine kleinere Oberfläche hat, als eine aus gleich starken Drähten hergestellte Litze.

Die Kupferlitzen können sodann mit Guttapercha umpresst oder mit vulkanisiertem Kautschuk isoliert und zur Sicherheit etwa noch mit Baumwolle mehrfach umsponnen werden.

Sie werden dann mit einander verseilt, häufig mit gegerbter Jute mehrfach umsponnen und mit einem Bleimantel umpresst, über welchen, von Compound umgeben, etwa zwei Lagen Jutegespinnst, die Armierung und abermals in Compound gebettete Jute gelegt werden kann.

Zur Armierung von Telegraphenkabeln soll stets eine Drahtarmatur gewählt werden, da mit Rücksicht auf die wenigen, schwachen Kupferleiter Zerrungen derselben während der Verlegung oder während des Betriebes auf das strengste vermieden werden müssen.

Den verschiedenen Bedürfnissen entsprechend, werden die Telegraphenkabel natürlich in ihrer Konstruktion auch Verschiedenheiten

aufweisen müssen, welche nicht alle besprochen werden können, die sich aber für alle Verhältnisse gewöhnlich von selbst ergeben, und es sollen hier nur einige Beispiele solcher verschiedenen Zwecken dienenden Telegraphenkabel angeführt werden.

Eine typische Grundform bildet die Konstruktion der Erdkabel der deutschen Reichstelegraphen-Verwaltung, welche für die grossen unterirdischen Telegraphenlinien Deutschlands angenommen wurde. (Fig. 55.)

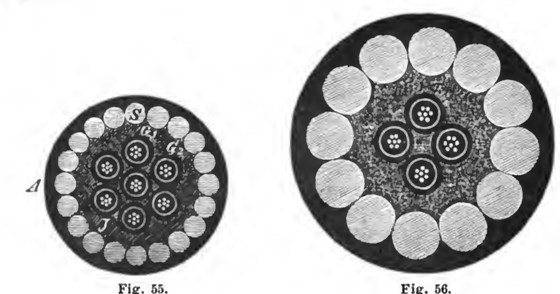


Fig. 55. Fig. 56.

Der Kupferleiter jeder der 7 Adern wird von einer Litze aus 7 je 0,7 *mm* starken Kupferdrähten gebildet, welche mit zwei Lagen Guttapercha auf 6 *mm* Durchmesser umpresst ist. Diese 7 Adern sind mit einander und mit Jute-Einlaufschnüren verseilt, so dass die Hohlräume zwischen den Adern vollkommen ausgefüllt sind und das Kabel bis zu diesem Fabrikationsstadium ein kreisrundes Seil bildet. Dasselbe wurde dann mit Jute J mehrfach umsponnen, durch eine geschlossene Armatur von 20 verzinkten Eisendrähten S gepanzert und die Panzerung von abwechselnden Lagen Compound und Jute A umgeben.

Um die Kabeladern bei der Einschaltung von einander unterscheiden zu können, sind zwei derselben G_1 und G_2 ihrer ganzen Länge nach mit einer Marke versehen, welche aus einer, bezw. zwei kleinen Erhöhungen besteht. Zählt man nun die Adern von G_1 an über G_2 bis G_6 und bezeichnet die mittlere mit G_7, so ist man leicht im Stande, die gleichnamigen Adern zu verbinden.

Kabel, welche in Flüsse mit Schiffsverkehr versenkt werden müssen, bedürfen einer viel stärkeren Armatur, um den Angriffen der Schiffsanker Widerstand leisten zu können. In Fig. 56 ist ein vieradriges Flusskabel stärkster Konstruktion dargestellt.

Jedoch auch bei anderen Gelegenheiten kommt es vor, dass Telegraphenkabel ganz besonders gegen die durch die lokalen Verhältnisse bedingten zerstörenden Einflüsse, welche sowohl chemischer als auch mechanischer Natur sein können, möglichst geschützt werden. In Eisenbahntunnels enthalten die Sickerwässer je nach der Beschaffenheit der Gebirgsformationen die verschiedensten chemischen Zusammensetzungen, welche nebst den Bestandteilen der Rauchgase sogar den eisernen Oberbau der Bahn zu zerstören im Stande sind; ausserdem wird in längeren Tunnels beinahe immerwährend gearbeitet, und daher müssen die dortselbst befindlichen Kabel nicht nur den chemischen Einflüssen, sondern auch den Spaten und Hauen der Arbeiter dauernden Widerstand leisten können. Ein schönes Beispiel solcher Tunnelkabel bietet das von der Firma Felten & Guilleaume für den Gotthardtunnel konstruierte Kabel, welches in Fig. 41 im Querschnitt in etwa $^2/_3$ natürlicher Grösse dargestellt erscheint.

Die Verhältnisse im Gotthardtunnel sind für Kabel ausserordentlich ungünstige, und es war sowohl für die genannte Firma als auch für die Verwaltung der Gotthardbahn eine schwierige Aufgabe, den gestellten Anforderungen gerecht zu werden.

Das Kabel enthielt 7 Leitungsadern, welche aus je 7 Kupferdrähten von 0.7 *mm* Durchmesser zusammengesetzt sind. Jede Litze ist durch abwechselnde Lagen von Chatterton-Compound und Guttapercha bis zum Durchmesser von 6 *mm* isoliert und hierauf mit einem imprägnierten Bande bewickelt. Die sieben Guttaperchaadern sind miteinander verseilt, und das Seil mit einer Bewickelung von geteertem Bande versehen. Ein doppelter Bleimantel schützt das Kabel gegen das Eindringen der schädlichen Gase und der Tunnelwässer. Über dem Bleimantel liegt eine starke, in Compound gebettete Gespinnstisolierung, und hierauf folgt die äusserst feste, geschlossene Façondraht-Armatur, bestehend aus 25 Eisendrähten von eigenartigem Querschnitte; den Abschluss nach aussen endlich bildet eine mehrfache asphaltierte Bewickelung. Der äussere Durchmesser des Kabels beträgt etwa 52 *mm*. Das Kabel in der Gesamtlänge von 15 800 *m* und einem Gewicht von 8870 *kg* per *km* wurde in Fabrikationsstücken von etwa 750 *m* auf grossen Trommeln geliefert, deren Bruttogewicht ca. 15 420 *kg* betrug.

Die von der Eidgenössischen Telegraphenverwaltung bedungenen Eigenschaften waren, bezogen auf 1 *km* bei 15° C., folgende:

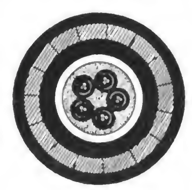
Kupferwiderstand: nicht über 7 Ohm,
Isolationswiderstand: nicht unter 1000 Megohm,
Kapazität: höchstens 0.25 Mikrofarad.

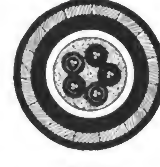
Die Messungen nach vollständiger Verlegung des Kabels ergaben:

Kupferwiderstand: im Mittel 6.35 Ohm,

Isolationswiderstand: im Mittel 7500 Megohm,
Kapazität: im Mittel 0.193 Mikrofarad,
bezogen auf 1 *km* und 15° C.[1])

Fig. 57 und 58 zeigen in natürlicher Grösse die Querschnitte des im Arlbergtunnel verlegten Kabels. Die 5 Leitungsadern bestehen aus je 3 verseilten Kupferdrähten von 0.66 *mm* Durchmesser; sie sind mittels zweier Lagen reiner Guttapercha auf einen Durchmesser von 4 *mm* umpresst, sodann mit gegerbter Jute verseilt, mehrfach umsponnen und von einem 1.6 *mm* starken Bleimantel umgeben. Über dem Bleimantel liegt sodann eine Schicht von abwechselnden Lagen von Compound und Jute, darüber eine aus 15 stark verzinkten Flachdrähten bestehende Eisenarmatur, welche noch durch eine Schicht von zwischen zwei Compoundlagen gebetteter geteerter Jute geschützt wird.


Fig. 57.


Fig. 58.

Dieses Kabel, welches eine Gesamtlänge von 11 113 Metern besitzt, wurde an beiden Portalenden, wegen der dort vorkommenden, durch die Vereisung bedingten Arbeiten, mit einer Flachdraht Armatur von 2.75 *mm* Stärke versehen, während das im Inneren des Tunnels liegende Kabel nur eine 1.75 *mm* starke gleiche Panzerung erhielt, und wurde von den Firmen Siemens & Halske und der Kabelfabrik - Aktien - Gesellschaft in Wien in Fabrikationslängen von rund 1000 *m* geliefert.

Die elektrischen Eigenschaften des Kabels pro *km* und 15° C. waren im Mittel folgende:
Leitungswiderstand: 16.72 Ohm,
Isolationswiderstand: 8800 Megohm,
Kapazität: 0.172 Mikrofarad.

Eine ganz besondere Entwickelung haben die Seekabel erfahren, und die Erfahrungen, welche man bei den vielen seit dem Jahre 1848 unternommenen Legungen von submarinen Kabeln gemacht hatte, bilden eigentlich die Grundlage zur Entwickelung aller anderen Arten von Telegraphenkabeln.

Die erste Leitung, welche zwei Meeresküsten mit einander für telegraphische Zwecke verbinden sollte, war die im Jahre 1850 zwischen Dover und Calais versenkte Telegraphenleitung, welche aus

[1]) Siehe Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1894, Seite 169.

einem 1.8 *mm* starken, bis auf einen Durchmesser von 12.5 *mm* mit Guttapercha umpressten Kupferdrahte bestand (Fig. 59) und mit Ausnahme der kurzen Uferenden, die, wie Fig. 60 erkennen lässt, mit einem starkwandigen Bleimantel umgeben waren, jedes weiteren Schutzes entbehrte. Dass diese Verbindung nicht von langer Dauer sein konnte — sie funktionierte thatsächlich nur einen Tag — ist heute leicht einzusehen.

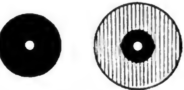


Fig. 59. Fig. 60.

Nun suchte man nach einem geeigneten Schutz für die Leitung und im darauffolgenden Jahre verlegte man in derselben Strecke

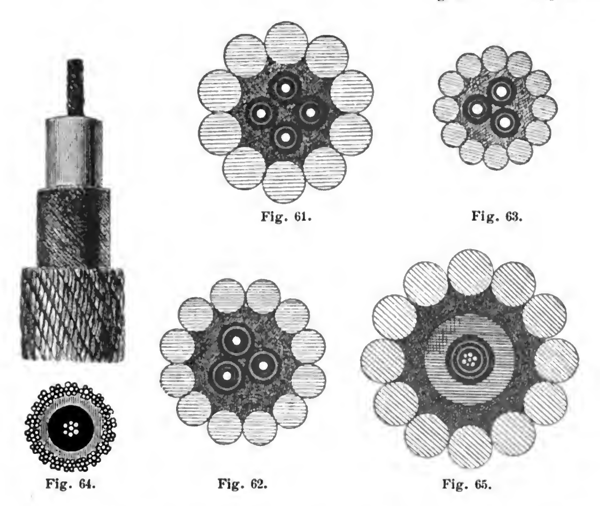


Fig. 61. Fig. 63. Fig. 64. Fig. 62. Fig. 65.

das in Fig. 61 dargestellte, mit 10 Eisendrähten von 7.5 *mm* Durchmesser gepanzerte, vieradrige Guttaperchakabel, dessen Verlegung trotz seines beträchtlichen Gewichtes, 1 *km* wog 4420 *kg*, bei der geringen Meerestiefe von höchstens 75 *m* anstandslos von Statten ging und welches Kabel auch bis zum Jahre 1875 im Betriebe war.

Bei den nun folgenden Kabellegungen im Mittelmeere, bei welchen unter anderem auch die in Fig. 62 und 63 dargestellten dreiadrigen Kabel ausgelegt wurden, zeigte sich, dass der Zug eines solchen stark konstruierten Kabels infolge seines Gewichtes bei den im Mittelmeere zu überschreitenden Tiefen von über 3000 *m* ein der-

artiger war, dass das Kabel während der Verlegung wiederholt riss und unwiederbringlich verloren ging. Obwohl wiederholte Versuche mit ähnlichen Kabeln, bei welchen übrigens statt eines einzigen Kupferdrahtes in jeder Ader bereits vierdrähtige Litzen und auch schwächere Panzerungen in Verwendung kamen, endlich doch zu einem befriedigenden Resultate führten, entschloss man sich dennoch, für Tiefseeverlegungen nur einadrige Kabel zu verwenden, welche infolge ihres geringeren Querschnittes auch wesentlich leichter wurden. Die Küstenenden wurden aber, damit sie den Angriffen der Schiffsanker widerstehen konnten, stark armiert.

Auf Grund der bereits gemachten Erfahrungen kam man anlässlich der im Jahre 1857 herzustellenden ersten transatlantischen Kabelverbindung zu dem Entschlusse, dem hierbei verwendeten Tiefseekabel den in Fig. 64 dargestellten Querschnitt zu geben, während für die Uferenden die in Fig. 65 abgebildeten Dimensionen bestimmt wurden. Der Leiter desselben wurde von einer aus 7 je 0.76 *mm* starken Kupferdrähten gebildeten Litze hergestellt, welche mit 3 Lagen Guttapercha zu einem Durchmesser von 9 *mm* umpresst war. Diese Guttaperchaader wurde von der Guttapercha-Company in London hergestellt, während die weitere Isolierung und Armierung des Kabels teilweise bei Newall & Co. in Birkenhead, teilweise bei Glass, Elliot & Co. in East-Greenwich vorgenommen wurde. Beim Tiefseekabel wurde die Guttaperchaader mit einer in Teer und Pech getränkten Juteumspinnung umgeben, die mit einem aus 18 Litzen bestehenden spiralförmig herumgewundenen Eisenschutze versehen war; das auf diese Weise erzeugte Tiefseekabel hatte einen Durchmesser von 16 *mm* und eine Bruchfestigkeit von 3300 *kg*. Die Guttaperchaader der Uferenden war mit einer mehrfachen Faserbespinnung versehen und mit 12 je 7.5 *mm* starken Eisendrähten armiert. Die Gewichte der einzelnen Materialien des Tiefseekabels betrugen pro *km*:

Kupfer	26 *kg*
Guttapercha	67 »
Eisendraht	474 »
Jute	63 »
Teer	2 »

Das fertige Kabel wog somit 632 *kg* pro *km*.

Nach drei misslungenen Versuchen, bei welchen das Kabel stets gerissen war, gelang es endlich doch, die Legung glücklich zu beenden, doch funktionierte das Kabel nur 23 Tage und konnte nicht wieder betriebsfähig gemacht werden.

Im Jahre 1865 machte man sich abermals ans Werk, eine transatlantische Telegraphenverbindung herzustellen. Nach langen

Beratungen hatte man sich für die am geeignetsten erscheinende Konstruktion des Kabels entschieden, und es wurde der »Telegraph Construction and Maintenance Company« die Ausführung dieses Kabels übertragen.

Die Konstruktion des Kabels war folgende: Der Leiter wurde aus einer siebendrähtigen Kupferlitze von je 1.2 *mm* starken Drähten hergestellt, welche durch Chatterton's Compound hindurchgezogen und zusammen verseilt wurden. Die Litze, deren Durchmesser 3.6 *mm* betrug, wurde von vier durch Chatterton's Compound getrennte Guttaperchalagen bis zu einem Durchmesser von 11.8 *mm* umpresst. Die so entstandene Ader wurde mit ungeteerter Jute umsponnen und mit einer aus 10 Drähten bestehenden Schutzhülle umgeben. Jeder dieser 2.4 *mm* starken Webster & Horsfall'schen unverzinkten, sog. homogenen, d. i. stahlähnlichen Eisendrähte, welche je 386 bis 500 *kg* Festigkeit haben mussten, war mit einer in Compound getränkten fünffädigen Manilla-Hanf-Umspinnung umgeben. Das letztere Material wurde gewählt, um einerseits das spezifische Gewicht des Kabels zu verringern, es im Wasser leichter zu machen, anderseits die Bruchfestigkeit desselben zu erhöhen. — Der Querschnitt dieses Seekabels, dessen Durchmesser 28 *mm* betrug, ist in Fig. 66 abgebildet, während Fig. 67 das Uferende darstellt, welches mit einer zweiten Hanflage und einer aus 12 dreidrähtigen Litzen gebildeten Eisenhülle umgeben war. Das Uferende hatte 62 *mm* Durchmesser und das Gewicht desselben betrug etwa 11 000 *kg* per *km*. Das Tiefseekabel enthielt pro *km* 98 *kg* Guttapercha, 73.5 *kg* Kupfer, wog in der Luft 982 *kg*, im Wasser 384 *kg* und hatte eine Bruchfestigkeit von 7875 *kg*. Die vertragsmässige Tragfähigkeit des Kabels war das 20fache Gewicht eines Kilometers des im Wasser gewogenen Kabels, d. h. es musste sich das Kabel noch in 20 *km* Tiefe des Meeres, senkrecht herunterhängend gedacht, selbst tragen.



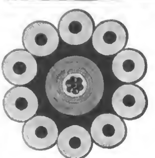


Fig. 66.

Nach den Mitteilungen von Ceark und Sabine hatte das Kabel nach der Legung einen Leitungswiderstand von 2.23 S. E., einen Isolationswiderstand von 5454 Millionen S. E. und eine Ladungs-Kapazität von 0.19 Mikrofarad pro *km* gehabt.

Als am 2. August 1865 nach mehreren kleineren Unfällen bereits 2196 *km* ausgelegt waren, riss das Kabel infolge eines unrichtigen Schiffsmanövers bei der Aufsuchung eines Fehlers und sank in die grosse Tiefe von 3570 *m* hinab. Mangelhafte Vorrichtungen bei den Hebeversuchen trugen grösstenteils die Schuld daran, dass man das Kabel verloren geben musste und dass diese zweite Expedition abermals scheiterte.[1])

Das unbegrenzte Vertrauen, welches das Grosskapital der Wissenschaft damals entgegenbrachte, ermöglichte schon im folgenden Jahre die Wiederaufnahme des Unternehmens. Die Anglo-American Telegraph Company, welche sich im Jahre 1866 gebildet hatte, liess von der Telegraph Construction and Maintenance Company sofort ein neues Kabel anfertigen. Die Konstruktion der Ader wurde beibehalten; dagegen verwendete man als Schutzhülle verzinkte Eisendrähte und unterliess es, den dieselben umgebenden Hanf mit Compound zu tränken. Das Kabel gewann dadurch das Aussehen eines gewöhnlichen Taues.



Fig. 67.

Seine Festigkeit war noch etwas grösser als jene des Kabels von 1865, denn es brach erst bei dem Zuge eines 22 *km* langen, im Wasser hängenden Kabelstückes. Fig. 68 stellt den Querschnitt des Tiefseekabels, Fig. 69 jenen des Küstenkabels dar. Der Eisenschutz des letzteren bestand aus zwölf 11 *mm* dicken Eisendrähten, die mit einer aus Jute und Compound bestehenden Umspinnung gegen Rost geschützt waren. Der Durchmesser des Uferkabels erreichte die ansehnliche Grösse von 7 *cm*. Die Legung begann am 13. Juli 1866 und wurde ohne erheblichen Zwischenfall am 27. Juli glücklich vollendet. Dieses Kabel blieb bis Jänner 1877 im Betriebe.

[1]) Vergl. »The Atlantic Telegraph, its history etc. from authentic sources«, Bacon & Co., London 1866.

Im September 1866 gelang es auch, das 1865er Kabel zu heben, die Legung glücklich zu vollenden und dieses Kabel ebenfalls dem Betriebe zu übergeben, welches bis zum Jahre 1874 korrespondenzfähig blieb. — Diese Erfolge bildeten sowohl einen bemerkenswerten Abschluss in der Entwickelung der submarinen Kabel, als auch den Ausgangspunkt für die ungemein rege Thätigkeit, welche sich in den folgenden Jahren auf diesem Gebiete geltend machte und bald ein grossartiges Netz von Verkehrswegen entstehen liess, welches heute, am Meeresboden ruhend, die Weltteile verbindet.

Die Anforderungen, welche an submarine Kabel gestellt wurden, steigerten sich sowohl in rein technischer, als auch in administrativer Beziehung von Jahr zu Jahr. In den sechziger und siebziger Jahren war die wichtigste Frage die, wie man ein Kabel konstruieren müsse, um dasselbe mit gutem Erfolge auf grosse Tiefen auszulegen,

Fig. 68.

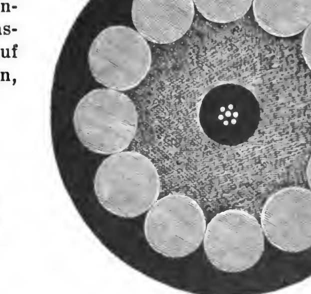


Fig. 69.

und in Bezug auf diesen Punkt stimmten die Gesellschaften und Unternehmungen überein. Allein in der Praxis der späteren Jahre haben die Telegraphengesellschaften und ihre Ingenieure neben den obenerwähnten Erfordernissen noch die Bedingung gestellt, dass das Kabel so konstruiert werden solle, dass es sogar bei schwierigerer Auslegung noch grosse Dauerhaftigkeit besitze und mit Leichtigkeit wieder gehoben werden könne, um selbst nach Jahren erforderliche Reparaturen möglich zu machen. Die erfolgreiche Hebung eines Kabels aus grossen Tiefen hängt von dem Verhältnisse der Bruchfestigkeit zum Zuge des hängenden Teiles des Kabels ab, und die günstige Gestaltung dieses Verhältnisses wird durch das Gewicht des Kabels einerseits und durch die Reibung zwischen Kabel und Wasser anderseits bestimmt. Die Reibung des Wassers hängt von der

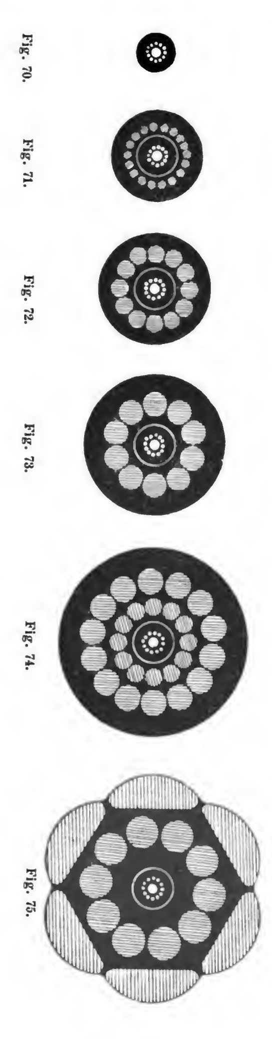


Fig. 70. Fig. 71. Fig. 72. Fig. 73. Fig. 74. Fig. 75.

Geschwindigkeit des Kabels bei der Hebung, sowie von der Beschaffenheit der Oberfläche desselben ab, dagegen ist sie vom spezifischen Gewichte des Kabels fast gänzlich unabhängig. Bei der Herstellung von Tiefseekabeln ist also die Bruchfestigkeit in erster Linie ins Auge zu fassen.

Bezüglich der elektrischen Eigenschaften ist hervorzuheben, dass die Übertragungsgeschwindigkeit eine möglichst grosse sein muss. Diese ist, wie später noch näher besprochen wird, durch das Produkt aus Leitungswiderstand und Ladungskapazität, welches möglichst klein sein muss, bestimmt. Die Verringerung des Leitungswiderstandes kann bei gegebener Länge des Kabels nur durch die Vergrösserung des Kupferquerschnittes erzielt werden, wobei jedoch die Oberfläche des Kupferleiters mit Rücksicht auf die Ladungskapazität eine möglichst kleine sein muss. Um das Produkt aus Widerstand und Kapazität den Verhältnissen entsprechend zu verringern, ging man daher von der Anwendung einer aus gleich starken Drähten zusammengesetzten Litze ab und wählte eine starke Seele, welche von mehreren dünneren Drähten umsponnen wurde. Die Ladungskapazität und daher die Übertragungsgeschwindigkeit hängt aber nicht nur von den Dimensionen des Leiters, sondern auch von jenen der Isolierhülle ab, und es ist daher von grosser Wichtigkeit, das Gewichtsverhältnis dieser beiden Konstruktionselemente des Kabels richtig zu wählen. Zieht man schliesslich noch die kommerziellen Momente in Betracht, so besteht die Aufgabe, welche unter Berücksichtigung dieser Bedingungen zu lösen ist,

darin, eine grösstmögliche Übertragungsgeschwindigkeit bei möglichst geringen Herstellungskosten zu erzielen. Diesen Bedingungen entspricht das von der Anglo-American Telegraph Company im Jahre 1894 zwischen Irland und New-Foundland verlegte transatlantische Kabel. Fig. 70 stellt die Guttaperchaader des Kabels allein dar. Fig. 71 zeigt die Konstruktion des Tiefseekabels, welches für Meerestiefen zwischen 1000 und 2500 Faden bestimmt war, Fig. 72 ist das etwas stärkere Kabel für Tiefen über etwa 500 Faden, Fig. 73 wurde für noch geringere Tiefen verwendet, Fig. 74 ist das New-Foundlandkabel und Fig. 75 das bei Irland ausgelegte Küstenkabel. Diese Figuren sind alle in etwa $^3/_5$ natürlicher Grösse dargestellt. Die Guttaperchaader hatte folgende Eigenschaften:

Gewicht des Kupferleiters . . pro *km* . .	159	*kg*,
» der Guttapercha . . » » . .	98	»
Leitungswiderstand . . . . » » . .	0.91	Ohm,
Kapazität . . . . » » . .	0.23	Mikrofarad,
Durchmesser der isolierten Ader	12.1	*mm*,
Bruchfestigkeit	454.0	*kg*.

Das Tiefseekabel, Fig. 71, ist mit 18 Stahldrähten No. 14 (der B. W. G.) armiert, und jeder Draht wurde vorher durch eine Guttaperchaumhüllung, wie durch eine doppelte Umspinnung vor Zerstörung geschützt. Das fertige Tiefseekabel hatte eine Bruchfestigkeit von 8332 *kg* und ein spezifisches Gewicht von 2.30.

Sämtliche Kabeltypen wurden von der Telegraph Construction and Maintenance Company in einer Gesamtlänge von 3420 *km* und in einem Zeitraume von etwa 4 Monaten hergestellt.[1])

Nachfolgende Tabelle giebt die elektrischen Eigenschaften der zwischen Europa und Nord-Amerika bis zum Jahre 1894 in Betrieb gewesenen transatlantischen Telegraphenkabel an und lässt auch die hierdurch bedingte Uebertragungsgeschwindigkeit in Worten per Minute entnehmen.

Diesen Kabelverbindungen wird in Kürze eine weitere hinzugefügt werden, welche durch die Compagnie française des Cables Télégraphiques für die französische Regierung hergestellt wird. Das Kabel wird von Brest nach Kap Cod gelegt und von da bis New-York verlängert werden.[2])

---

[1]) Nach den Mitteilungen des Mr. A. Dearlove im »Electrician« vom 12. Oktober 1894.

[2]) Vergl. Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1895, S. 692, und 1896, S. 30.

Jahr der Verlegung	Das Kabel wurde gelegt zwischen	Das Kabel ist im Besitze der	Länge in Seemeilen	Leitungswiderstand in Ohm bei 75° F	Leitungsfähigkeit in % wenn jene des chemisch reinen Cu. = 100	Elektrotechnische Kapazität in Mikrofarad	Spezifische Induktions-Kapazität	Verzögerungs-Koëffizient = R × E	Berechnete Übertragungsgeschwindigkeit mit Zugrundelegung des 1874er Kabels	Wirkliche Übertragungsgeschwindigkeit in Worten per Minute	Das Kabel wurde erzeugt von
				R		F		$\times 10^6$			
1865	Island-Newfoundland	Anglo-American Telegraph Co. . .	1896	8096	93.09	670.3	1852	5.482	13.06	—	Telegr. Construction and Maintenance Co.
1866	» »	Anglo-American Telegraph Co. . .	1852	7778	94.63	654.7	1852	5.093	13.92	—	Telegr. Construction and Maintenance Co.
1869	Frankreich-St. Pierre Miquelon	Anglo-American Telegraph Co. . .	2584	8166	94.33	1110	2003	9.064	7.81	—	Telegr. Construction and Maintenance Co.
1873	Island-Newfoundland	Anglo-American Telegraph Co. . .	1876	5936	94.21	660.2	1640	3.919	18.11	—	Telegr. Construction and Maintenance Co.
1874	» »	Anglo-American Telegraph Co. . .	1837	5759	95.06	609.9	1550	3.512	20.20	20.2	Telegr. Construction and Maintenance Co.
1875	» »	Direct United States Cable Co.	2423	7642	94.52	987	1820	7.558	9.38	22.6	Siemens Brothers.
1879	Frankreich-St. Pierre Miquelon	Paris & New-York Cable Co.	2242	7896	96.75	836	1628	6.600	10.74	22	»
1866—80	Irland-Newfoundland	Anglo-American Telegraph Co. . .	1852	7721	95.30	599.9	1557	4.632	15.31	—	Telegr. Construction and Maintenance Co.
1881	Land's End-Neu-Schottland. . . .	American Cable Co. .	2518	8320	97.20	939	1550	7.834	9.05	27	SiemensBrothers&Co.
1882	Land's End-Neu-Schottland. . . .	»	2563	8570	97.20	937	1539	8.030	8.84	27	»
1884	Irland-Neu-Schottland	Commercial Cable Co.	2353	7758	96.62	869	1525	6.740	10.52	26	»
1884	» »	»	2346	7538	97.50	879.2	1558	6.630	10.71	26	»
1894	» »	»	2161	5323	98.50	877.6	1558	4.671	15.18	über 40	»
1894	Irland-Newfoundland	Anglo-American Cable Co.	1850	3112	—	786.6	1558	2.448	—	47.4	Telegr. Construction and Maintenance Co.

VI.

Telephon-Kabel.

Die ersten Versuche, die gemacht wurden, einzelne Adern der vorher beschriebenen Telegraphenkabel für telephonische Zwecke zu benutzen, zeigten, dass der telephonische Verkehr durch die benachbarten Telegraphenadern infolge der kräftig auftretenden Iuduktionsströme wesentlich erschwert wurde und dass derselbe in gewöhnlichen Guttaperchaadern auf grössere Entfernungen überhaupt unmöglich war, weil die Ladungskapazität solcher Adern, für die zarten telephonischen Stromimpulse viel zu gross, namhafte Stromverzögerungen mit sich brachte, welche die Gespräche unverständlich machten.

Die ersten Telephonkabel, welche von Siemens & Halske hergestellt wurden, enthielten dünne Doppelleitungen, die mit Baumwolle umsponnen und mit einer Isoliermasse imprägniert waren. Das ganze System von Doppelleitungen war dann mit einem Bleimantel umpresst und mit einer Armatur von verzinkten Eisendrähten umgeben, über welche noch als Schutz gegen das Rosten eine Hülle von Jute und Asphalt gelegt wurde. Allein diese Kabel liessen bezüglich ihrer Ladungskapazität und der gegenseitig auf einander ausgeübten Induktion noch manches zu wünschen übrig.

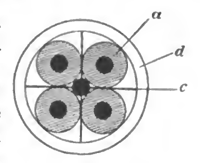


Fig. 76.

Um die Induktionsstörungen, welche die einzelnen Adern auf einander ausübten, zu beseitigen, hat man zu den verschiedensten Hilfsmitteln gegriffen. Zuerst wurde als Rückleitung eine röhrenförmige, ebenfalls isolierte Hülle für jede einzelne Leitung verwendet; dann griff man zum Stanniol, mit welchem man jede einzelne Leitung oder je ein Bündel von Leitungen umgab, oder man umwickelte jede Ader spiralförmig mit blanken Metalldrähten, auch schwachen Kupferbändern, ohne ein befriedigendes Resultat zu erzielen. Eine interessante Konstruktion führte auch die Firma Siemens & Halske aus, indem sie ein Kabel herstellte, dessen Rückleitung aus einem einzigen zusammenhängenden Fachwerk bestand, in dessen einzelne Fächer je eine isolierte Leitung eingeschlossen wurde.

Zu diesem Zwecke wurden beispielsweise vier mit Baumwolle mehrfach umsponnene Leitungen *a* (Fig. 76) mit ebenso vielen Kupferstreifen *c*, die der Länge nach zwischen den einzelnen isolierten Leitungen in die Maschine einliefen, zusammen verseilt. Dieses Leitungsseil wurde im Vakuum getrocknet, mit einer Isoliermasse

imprägniert und sodann mit einem Bleimantel *d* umpresst. Die Kupferstreifen kamen hierbei mit dem Bleimantel in leitende Verbindung, so dass jede einzelne Ader in einer geschlossenen leitenden Hülle eingeschlossen war, welche die Induktion in den neben einander liegenden isolierten Leitungen verhindern sollte. Dieses Verfahren wurde in gleicher Weise auch auf vieladrige Kabel ausgedehnt, nur dass jede Lage der verseilten Leitungen, mit Ausnahme der äussersten mit dem Bleimantel umpressten, mit einem Kupferband umwickelt wurde, mit welchem die zwischen den Leitungen angeordneten kupfernen Scheidewände in leitendem Kontakte standen (Fig. 77.)[1]).

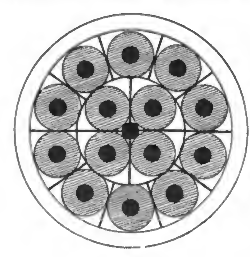


Fig. 77.

Die relativ geringen Erfolge, welche mit dieser Konstruktion erzielt wurden und welche mit der Umständlichkeit des Verfahrens in keinem Verhältnisse standen, veranlassten jedoch die genannte Firma, diese Methode wieder zu verlassen und später zu einem ähnlichen, aber einfacheren Mittel zu greifen. Vorerst wird jede einzelne isolierte Ader mit einem etwa 8—10 *mm* breiten Bande aus Stanniol spiralförmig umwickelt und dieselbe hierdurch mit einer leitenden Oberfläche versehen. Hierauf werden vier solcher Adern mit einander verseilt und in ihrer Mitte ein als Seele einlaufender blanker Kupferdraht eingeschlossen. Dieser Kupferdraht steht seiner ganzen Länge nach mit den Stanniolbewickelungen der vier Adern in leitender Verbindung und wird nach der Verlegung des Kabels als Erdleitung benutzt. Die sekundären Induktionsströme werden nun von der konzentrisch angeordneten leitenden Oberfläche der Adern teils paralysiert, teils durch die blanke Kupferseele zur Erde abgeleitet. Mehrere solche vieradrige Litzen werden sodann zu einem vieladrigen Kabel verseilt, etwa noch gemeinschaftlich mit Baumwolle umsponnen oder mit einem Leinenbande umwickelt und mit einem Bleimantel umpresst, der weiter noch eine entsprechende Eisenpanzerung erhalten kann.

Ausser den störenden Einflüssen der Induktion sind es jedoch, wie bereits bemerkt wurde, auch die infolge der Kapazität der einzelnen Adern auftretenden Ladungserscheinungen, welchen bei der Konstruktion der Telphonkabel die grösste Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. Bei der Telephonie werden Stromimpulse übertragen, deren Dauer im Mittel $\frac{1}{500}$ Sekunde beträgt. Da nun die Ge-

[1]) Siehe Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien 1887, Seite 326.

schwindigkeit, mit welcher eine Stromwelle sich im Kabel fortpflanzt, zuweilen ein viel grösseres Zeitmass besitzt, so ist die Folge davon, dass in manchen Leitungen die Stromemissionen viel rascher erfolgen, als die von ihnen erzeugten Stromwellen an das Ende des Kabels gelangen können. Für die Beschleunigung dieser Fortpfanzung ist das Produkt aus Kapazität und Widerstand der Kabelader von grosser Bedeutung und wird auch noch später eingehender besprochen werden.

Der elektrische Widerstand kann bei einem vieladrigen Telephonkabel von gegebener Länge durch eine Vergrösserung des Querschnittes der einzelnen Kupferleitungen aus ökonomischen Gründen nicht viel herabgemindert werden, umso weniger als die zunehmende Oberfläche des Leiters auch wieder ein Wachsen seiner Kapazität zur Folge hätte. Man musste daher darauf bedacht sein, den zweiten Faktor des in Betracht kommenden Produktes, also die Ladungskapazität der Adern auf ein möglichst geringes Mass zu reduzieren. Letztere ist aber ausser von der Oberfläche der Kupferader vom Materiale der isolierenden Substanz abhängig, und deshalb spielt die Wahl des Isoliermaterials bei der Fabrikation von Telephonkabeln eine äusserst wichtige Rolle. Jedes Isoliermaterial hat die Eigenschaft, eine gewisse Menge Elektrizität in sich aufzunehmen und zu binden. Diese Eigenschaft ist aber nicht bei allen Isoliermaterialien gleich gross, und man hat auf empirischem Wege für verschiedene Körper bezüglich ihrer elektrischen Aufnahmefähigkeit eine Konstante, die spezifische Induktionskapazität (Dielektrizitätskonstante, auch Verteilungskoëffizient) bestimmt. Soll nun eine Kabelader von bestimmter Länge und gegebenem Kupferquerschnitte mit möglichst geringer Ladungskapazität hergestellt werden, so muss man sie mit einem Isoliermittel von möglichst kleiner spezifischer Induktionskapazität umgeben. Für stationäre Ströme ist die spezifische Iuduktionskapazität für nachstehende Körper auf elektrostatischem Wege wie folgt gefunden worden:

für Luft	1.0
» Paraffin	1.98
» Kautschuk	2.8
» Guttapercha	4.2
» Glimmer	5.0

Die Untersuchungen von F. H. Stafford und G. U. G. Holmauer[1]) haben jedoch ergeben, dass diese Werte andere sind, wenn bei den Messungen nicht elektrostatische Elektrizitätsströmungen, sondern

[1]) Siehe Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien 1890, Seite 376.

Telephonströme angewendet wurden. Die mit Telephonströmen ausgeführten Messungen ergaben folgende Resultate:

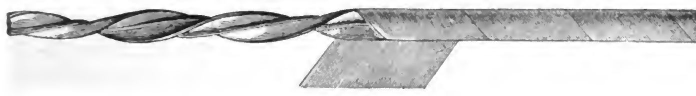
für Petroleum	1.6
» festes Paraffin	2.0
» Baumwolle, gesättigt mit Paraffin, im Vakuum	2.0
» » in Paraffin gesotten	2.6
» Kautschuk	3.7
» künstliche Guttapercha (Gwyn.)	3.9
» Guttapercha	4.2
» Glas	4.6
» Wasser	6.3

Ein Vergleich dieser beiden Zusammenstellungen zeigt, dass die mit Telephonströmen erzielten Resultate wohl mehr oder weniger von den auf elektrostatischem Wege gefundenen abweichen, dass aber die Reihenfolge der Materialien in Bezug auf ihre Verwendbarkeit als Isoliermittel für Telephonadern in beiden Fällen dieselbe ist. Zweifellos hat Luft die geringste und Wasser die grösste spezifische Induktionskapazität. Nächst der Luft wäre das Petroleum am geeignetsten, wenn es vollkommen wasserfrei zur Verfügung stände, aber diesbezüglich angestellte Versuche haben ergeben, dass derartig isolierte Telephonadern infolge Hinzutretens von Wasser bald untauglich wurden. Auf Grund der ermittelten Werte der spezifischen Induktions-Kapazität verschiedener Körper wurde eine grosse Reihe von Versuchen angestellt, welche auch zu verschiedenen Telephonkabel-Konstruktionen führten. So wendete man auch in Paraffin getränkte Baumwolle zur Isolierung der Telephonadern an, fand aber schliesslich im Papier das geeignetste Material zur Herstellung guter Telephonkabel. Die blanken Drähte wurden mit Papierstreifen, für welche natürlich nur ein Papier von möglichst hoher Isolationsfähigkeit gewählt wurde und welche in Paraffin gut imprägniert waren, spiralförmig in zwei Lagen umwickelt. Die in dieser Weise hergestellten Telephonkabeladern haben pro Kilometer eine Ladungskapazität von etwa 0.07 Mikrofarad. In neuester Zeit hat man bereits die Luft als Isoliermittel für Telephonadern benutzt und dadurch die besten Resultate erzielt. Die Firma Felten & Guilleaume in Mülheim am Rhein war die erste, welche solche Telephonadern mit Luftisolation erzeugte. Das Verfahren ist folgendes: Zwei Kupferdrähte laufen parallel zu einander in die Maschine ein und werden durch einen zwischen ihnen der Länge nach einlaufenden Papierstreifen getrennt, so dass sich im Querschnitte das in Fig. 78 dargestellte Bild darbietet. Diese beiden Drähte werden nun zusammengedreht, wodurch sich auch der Papierstreifen zu einer Schraubenfläche verdreht, und das Ganze wird schliesslich etwa noch mit einem zweiten Papierstreifen spiralförmig umwickelt.

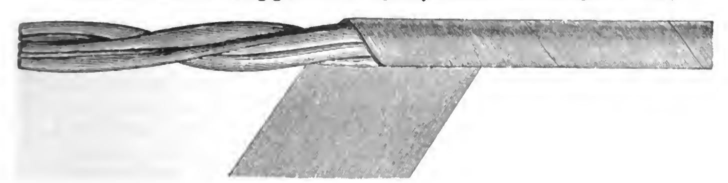
Die Steifheit des Papieres bewirkt hierbei die Bildung von Lufträumen um die eingeschlossenen Drähte, so dass eine in zwei spiralförmige Kammern eingeteilte Röhre entsteht, welche zwei von einander isolierte Leitungen enthält. Fig. 79 zeigt den Querschnitt, Fig. 80 die Ansicht einer solchen Doppelader.


Fig. 78.

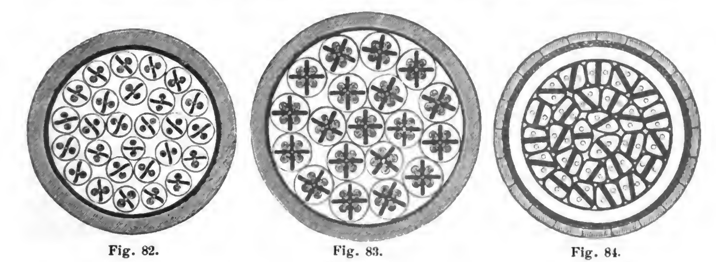

Fig. 79.


Fig. 80.

Dieselbe Firma hat das beschriebene Verfahren noch dahin weiter ausgedehnt, dass sie gleichzeitig vier Drähte in longitudinaler Weise durch einen kreuzförmig gefalteten Papierstreifen und einen spiralförmig


Fig. 81.

darüber gewickelten zweiten Papierstreifen isoliert. (Fig. 81.) Fig. 82 versinnbildlicht in schematischer Darstellung ein Kabel mit Bündeln von zwei Drähten, Fig. 83 ein Kabel mit Bündeln von vier Drähten.


Fig. 82. Fig. 83. Fig. 84.

Dagegen stellt Fig. 84 den Querschnitt des ersteren Kabels dar, wie er thatsächlich aussieht. Die Ladungskapazität solcher Kabel beträgt im Maximum 0.05 Mikrofarad. Ein ähnliches Verfahren zur

Erzeugung von Telephonadern mit Luftisolation wendet die »Kabelfabrik-Aktien-Gesellschaft« in Wien an. Auch hier wird eine longitudinale Papierisolation hergestellt, jedoch nur ein einziger Draht in einem oder in zwei gefalteten Papierstreifen eingelegt und das Papier durch einen spiralförmig herumgewundenen Faden festgehalten, wodurch ebenfalls eine lufterfüllte Röhre entsteht, welche den blanken Kupferdraht beherbergt. Die Querschnitte solcher Telephonadern sind in Fig. 85 und Fig. 86 dargestellt.

Eine weitere Art, Lufträume herzustellen, bildet auch die Umwickelung des Kupferdrahtes mit perforiertem Papier, bei welcher sich der Papierstreifen während der Umwickelung an seiner perforierten Mitte etwas zusammenlegt und Hohlräume bildet.



Fig. 85.



Fig. 86.

Ausserdem kann man Luftraumisolierungen auch durch eine doppelte spiralförmige Papierbewickelung herstellen, welche den Draht lose umhüllt, so dass man auch auf diese Weise einen den blanken Leitungsdraht umgebenden, mit Luft gefüllten Hohlcylinder erhält.

In neuester Zeit stellt die Firma Felten & Guilleaume Telephon-Doppeladern her, welche, longitudinal mit Papier isoliert, durch einen mitlaufenden streifenförmigen Erdleiter von einander getrennt sind. Die eine Hälfte bezw. Kante desselben liegt zwischen den Leitungsdrähten, während die andere auf der äusseren Oberfläche der spiralförmig zusammengedrehten Doppelader liegt. Hierdurch sollen die Störungen durch Induktion sowohl zwischen den beiden Leitungsdrähten, als auch zwischen diesen und den Nachbarleitungen vermieden werden.[1])

Die nach einer der beschriebenen Methoden isolierten Telephonadern werden dann je nach Bedarf in entsprechender Anzahl mit einander verseilt und gemeinschaftlich entweder mit Baumwolle umsponnen oder mit ein bis zwei Lagen porösen Leinenbandes umwickelt.

Die grössten Telephonkabel enthalten bis zu 104 Doppelleitungen, und es ist erklärlich, dass man zur Orientierung bei der Verbindung der einzelnen Adern mit den oberirdischen Leitungen und bei der Spleissung der einzelnen Fabrikationslängen eines Hilfsmittels bedarf, um das Aufsuchen der zusammengehörigen Drähte zu erleichtern. Dies geschieht, indem man beispielsweise die Kupferdrähte jeder zweiten Lage der Verseilung verzinnt und ausserdem in jeder Lage eine sogenannte Orientierungsader dadurch kennzeichnet, dass man zur Papierumhüllung derselben farbige Papierstreifen wählt.

---

[1]) Siehe Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1896, Seite 653.

Ist das Kabel verseilt und so weit fertig, dass es mit einem Bleimantel umpresst werden kann, so wird es einer sehr wichtigen Prozedur unterzogen, welche mit Rücksicht auf die besprochenen Werte der spezifischen Induktionskapazität verschiedener Materialien alsbald ihre Erklärung findet. Es wurde bereits erwähnt, dass das Wasser im Vergleiche zu allen übrigen in Betracht gezogenen Körpern die grösste spezifische Induktionskapazität besitzt, woraus hervorgeht, dass einem guten Telephonkabel, abgesehen von der elektrischen Leitungsfähigkeit des Wassers, schon aus diesem Grunde jede Feuchtigkeit entzogen werden muss. Im Hinblick auf die hygroskopischen Eigenschaften der verwendeten Isoliermaterialien ist es aber bei der grössten Sorgfalt nicht zu vermeiden, dass während der Fabrikation des Kabels eine gewisse und zwar nicht unbedeutende Menge von Feuchtigkeit in das Leitungsseil mit eingeschlossen wird, und es ist daher eine sehr wichtige Aufgabe des Fabrikanten, dem Kabel diese Feuchtigkeit, soweit es nur im Bereiche der Möglichkeit liegt, zu entziehen. Zu diesem Zwecke wird das so weit fertige Kabel behutsam in einen sorgfältig getrockneten und gereinigten eisernen Korb, deren einer bereits bei der Herstellung der Bleikabel beschrieben wurde, hineingewunden und vorerst in einem eigens hierzu bestimmten geheizten Vorwärmer mehrere Stunden lang getrocknet. Mittlerweile wird eins von den gleichfalls bei der Bleikabelfabrikation beschriebenen eisernen Vakuumgefässe so lange erwärmt, bis die in demselben etwa enthaltene Feuchtigkeit vollkommen verdampft ist, und sodann bringt man das genügend vorgewärmte und bereits einigermassen getrocknete Kabel samt dem Korbe in das Vakuumgefäss, in welchem überdies noch sehr hygroskopische Körper, gewöhnlich eine genügende Menge ungelöschter Kalk, untergebracht wird, um das Entziehen der Feuchtigkeit des Kabels zu beschleunigen. Hierauf wird das Vakuumgefäss gegen aussen hermetisch abgeschlossen und auf eine hohe Temperatur erwärmt. Die im Kabel noch enthaltene Feuchtigkeit verdampft, wird zum Teile vom Kalke aufgenommen, zum Teile beim Evakuieren des Gefässes mit der ausströmenden Luft herausgerissen. Das Heizen und Evakuieren des Gefässes wird so lange fortgesetzt, bis man die Ueberzeugung erlangt hat, dass alle Feuchtigkeit dem Gefässe und dem Kabel entzogen ist, worauf man die Temperatur etwas sinken lässt und dem Gefässe trockene Luft zuführt. Nunmehr wird das Vakuumgefäss geöffnet und das Kabel unverweilt und mit grösster Vorsicht in die bereitstehende Kabelpresse eingeführt, wo es mit einem dicht anschliessenden konzentrischen Bleimantel versehen wird. Die Enden des umpressten Kabels sind, um den weiteren Luftzutritt zu verhindern, sofort nach ihrem Austreten aus der Presse, am besten durch eine mehrfache Umwickelung mit

Gummibändern, luftdicht abzuschliessen, worauf das Kabel seiner weiteren Vollendung, der etwa notwendigen Umspinnung und Imprägnierung bezw. Armierung, zugeführt werden kann.

Wird das Kabel mit einer Eisenarmatur versehen, so kommt auf den Bleimantel erst die übliche Jute-Compound-Zwischenlage und darauf erst die Armierung. Die Armierung kann, je nach der Art der Verlegung, entweder eine Bandarmierung oder eine Drahtarmierung sein. Letztere ist dann anzuwenden, wenn die unterirdisch zu verlegenden Kabel durch Rohrleitungen hindurchgezogen werden; es ist in diesem Falle zur Erleichterung des Einziehens eine verzinkte Flachdraht-Armatur ohne jede weitere Compoundhülle besonders zu empfehlen, weil die Flachdraht-Armatur dem Kabel eine nahezu cylindrische Oberfläche giebt, wobei auch der Querschnitt auf ein Minimum reduziert wird und die blanke Oberfläche der Armatur das Durchgleiten durch die Rohrleitung infolge geringer Reibung erleichtert.

Solche Papier-Telephonkabel mit Lufträumen, welche teils mit Bandeisen, teils mit Flachdraht armiert sind und 52 Doppeladern von je 1 *mm* Durchmesser enthalten, stehen im Wiener Stadt-Telephonnetze in Verwendung. Die Staats-Telephonverwaltung verlangte pro 1 *km* und 15° Celsius einen Leitungswiderstand von höchstens 25 Ohm, einen Isolationswiderstand von mindestens 1000 Megohm und eine Ladungskapazität von höchstens 0.08 Mikrofarad, doch stellte sich bei den gelegentlich der Übernahme vorgenommenen Messungen heraus, dass die von den Firmen Siemens & Halske, Felten & Guilleaume und der »Kabelfabrik-Aktien-Gesellschaft« in Wien gelieferten Kabel die geforderten Eigenschaften zum grossen Teile noch weit übertrafen.

Eine besondere Art von Luftraumisolierung wendet die Firma Franz Clouth, Rheinische Gummiwarenfabrik in Köln-Nippes, bei ihren Telephonkabeln an. Die Isolation der Adern wird durch gitterförmig über die Drähte gelagerte Baumwolle bewerkstelligt, wobei die Anordnung in der Weise getroffen ist, dass nur die Knotenpunkte der das Gittergewebe bildenden Baumwolle den Draht berühren, während der übrige Teil unter Belassung grosser Lufträume vom Kupfer fern gehalten wird. Diese Adern werden sodann verseilt, gemeinschaftlich mit einem doppelten Bleimantel umgeben und sodann im Bedarfsfalle mit Flachdraht armiert.

Ein in dieser Weise konstruiertes Kabel wurde für die kaiserl. Reichspost in Köln in einer Gesamtlänge von 4953 *m* verlegt. Die elektrischen Eigenschaften desselben waren nach der Verlegung pro 1 *km* und 15° C:

Nr. der Ader	Isolationswdstd. in Megohm	Kapazität in Mikrofarad	Leitungswdstd. in Ohm
1	8268	0.053	5.98
2	9500	0.054	6.12
3	9500	0.053	6.22
4	9570	0.054	6.56
5	9570	0.054	6.28
6	9850	0.054	6.28
7	19140	0.043	5.99 [1]

VII.

Kabel für starke und hochgespannte Ströme.

Die Konstruktion der Leitungsmaterialien für starke Ströme unterscheidet sich von jener der bereits besprochenen Kabel in erster Linie dadurch, dass man infolge der starken Ströme, welche solche Leitungen führen sollen, die Querschnitte der Kupferleiter entsprechend grösser dimensionieren muss, wobei eine bestimmte maximale Erwärmung der Leitungen durch den Strom als Basis dient. Diese Erwärmung bestimmt aber wieder die Wahl des Isolationsmateriales, da dasselbe durch die höhere Temperatur nicht wesentlich an seiner Isolierfähigkeit leiden darf. Abgesehen vom Kostenpunkte, kann aus diesem Grunde für eine Starkstromleitung beispielsweise die Guttapercha als Isoliermaterial nicht verwendet werden.

Unter der Voraussetzung, dass zur Herstellung der Leitungsmaterialien für starke Ströme nur Elektrolyt-Kupfer von bester Leitungsfähigkeit verwendet wird, hat der »Verband deutscher Elektrotechniker« in den »Sicherheitsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen« für Drähte und Kabel die höchsten zulässigen Betriebsstromstärken festgesetzt, wie sie aus nachstehender Tabelle zu entnehmen sind[2]):

Querschnitt in mm^2	Betriebsstromstärke in Ampère	Querschnitt in mm^2	Betriebsstromstärke in Ampère
0.75	3	35	80
1	4	50	100
1.5	6	70	130
2.5	10	95	160
4	15	120	200
6	20	150	230
10	30	210	300
16	40	300	400
25	60	500	600

[1]) Vergl. Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1895, Seite 177.
[2]) Siehe Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1896, Seite 22.

Der geringste zulässige Querschnitt für Leitungen, ausser an und in Beleuchtungskörpern ist, 1 mm^2, an und in Beleuchtungskörpern $^3/_4$ mm^2.

Ein weiterer bestimmender Faktor ist die Spannung, welche der in der Leitung zirkulierende Strom besitzt und welche bei der Dimensionierung und der Wahl des Isolationsmateriales ausschlaggebend ist. Ausser den bereits an früherer Stelle besprochenen isolierten Drähten und Leitungsschnüren verwendet man namentlich für Beleuchtungsanlagen innerhalb von Gebäuden für stärkere Ströme entsprechend dimensionierte Leitungsseile von folgenden Isolierungen: Das Leitungsseil wird erst mit Baumwolle umsponnen, sodann mit einer oder zwei Umklöppelungen versehen und endlich mit Asphalt oder einer anderen geeigneten Isoliermasse imprägniert. Solche Leitungen dürfen jedoch, soweit ätzende Dämpfe nicht zu befürchten sind, in ganz trockenen Räumen nur auf Isolierrollen oder ähnlichen isolierenden Befestigungsgegenständen angebracht werden. Im Freien sind dieselben wie blanke Leitungen zu behandeln. Wird das Leitungsseil, nachdem es mit Baumwolle dicht umsponnen wurde, mit einem oder mit mehreren Gummibändern in entgegengesetzten Richtungen umwickelt, darüber abermals mit Baumwolle umsponnen, sodann umklöppelt und imprägniert, so gewährt dasselbe schon eine viel grössere Garantie gegen Stromverluste und kann, falls chemische Einwirkungen nicht zu befürchten sind, in trockenen Räumen ohne weitere Isolierung in Röhren verlegt werden. In feuchten Räumen reicht aber auch diese Isolierung nicht mehr aus, und man wählt in diesem Falle Kautschuk, welcher das Leitungsseil in einer ununterbrochenen und vollkommen wasserdichten Hülle umschliesst.

Grosser Beliebtheit und Verbreitung erfreuen sich bei der Installation von Starkstromanlagen die Bleikabel mit imprägnierter Faserisolation, deren Herstellungsweise bereits auf Seite 59 eingehend besprochen wurde. Sie sind bedeutend billiger als die Guttapercha- oder Kautschukleitungen, haben die gute Eigenschaft, hohe Temperaturen ertragen zu können, ohne dadurch irgend welchen Schaden zu erleiden, und werden weder durch Feuchtigkeit, noch durch trockene Lüfte angegriffen. Blanke Bleikabel ohne jeden weiteren Schutz haben wohl den Nachteil, dass sie nicht überall mit dauernder Sicherheit verlegt werden können, da der Bleimantel sowohl mechanischen als auch chemischen Einflüssen nicht immer standhalten kann. Presst man um den einen Bleimantel nach einer Compound-Zwischenlage noch einen zweiten herum, so erhält das Kabel auch dort, wo es chemischen und mechanischen Angriffen ausgesetzt ist, wohl eine bedeutend grössere Dauerhaftigkeit, welche

teilweise auch dadurch erreicht werden kann, dass man den Bleimantel mit einer gut asphaltierten Juteumspinnung versieht, aber vollkommen ist dieser Schutz noch immer nicht, weshalb die Verlegung solcher Kabel stets noch an Orte gebunden ist, an welchen das Blei nicht zerstört werden kann. Wird das Bleikabel aber mit einer Draht- oder Bandarmatur versehen, welche ihrerseits noch durch eine asphaltierte Jutelage geschützt werden kann, so ist man in der Lage, es direkt in die Erde zu verlegen, ohne eine Zerstörung des Bleies fürchten zu müssen.

Unterirdische Starkstromkabel werden gewöhnlich mit imprägnierter Faserisolation hergestellt und können daher, da sie durch die Sonnenwärme in keiner Weise nachteilig beeinflusst werden, in seichte Gräben verlegt werden. Bei dieser Verlegungsart werden sie wohl nur sehr wenig auf Zug beansprucht, können aber bei Strassen- bezw. Erdarbeiten leicht beschädigt werden. Es wird daher bei diesen Kabeln eine mit abwechselnden Lagen von Jute und Compound umgebene Bandeisen-Armatur der Drahtarmatur allgemein vorgezogen.

Während des Betriebes von Starkstromanlagen kommt man häufig in die Lage, an bestimmten Punkten des Kabelnetzes die daselbst herrschende elektrische Spannung zu kontrolieren. Es wäre namentlich bei ausgedehnten Kabelanlagen höchst unbequem, ja oft unausführbar, die Messungen an Ort und Stelle vorzunehmen, ohne den Betrieb in höchst unangenehmer Weise zu stören. Um dies aber von der Centralstation aus direkt vornehmen zu können, bedarf es eigener Messleitungen zu den im Kabelnetze zerstreut liegenden Punkten, die der erwähnten Kontrole bedürfen, und diese Messleitungen legt man direkt in die Kabel. Zu diesem Zwecke wird an Stelle eines der Kupferdrähte der äussersten Drahtlage der stromführenden Kabellitze ein etwas schwächerer, durch mehrfache imprägnierte Juteumspinnung isolierter Draht, der sogenannte Prüfdraht, in das Kabel mit verseilt, welcher für diese Messungen zu dienen hat.

Selbstverständlich ist der Prüfdraht bei der Berechnung des Kupferquerschnittes der Kabellitze zu berücksichtigen. Der äussere Durchmesser seiner Isolierung ist dem Durchmesser der blanken Drähte der Litze gleich zu machen, so dass er den für ihn bestimmten Raum in der äusseren Drahtlage des Seiles vollständig ausfüllt.

An die Isolation der Starkstromleitungen werden heute, wo man bereits Spannungen von 10000 Volt und darüber für industrielle Zwecke verwendet, ganz ausserordentliche Anforderungen gestellt. Der Isolationswiderstand einer Leitung nimmt ab, wenn die elektrische Spannung in der Leitung wächst, und daher muss der

Isolationswiderstand der Leitung um so grösser gemacht werden, je grösser die Spannung ist, unter welcher der elektrische Strom die Leitung durchfliesst. Um den Isolationswiderstand einer Leitung zu erhöhen, bedarf es in erster Linie des geeigneten Isoliermateriales, durch welches die Dicke der Isolierhülle bestimmt wird. In zweiter Linie muss die Isolierschicht sorgfältig vor jedem Luftzutritte bewahrt werden, da die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit derselben grosse elektrische Leitungsfähigkeit verleiht und daher auch den Ausgleich der Spannungen, und zwar zwischen jener der Leitung und jener der Erde oder jener zwischen zwei neben einander laufenden Leitungen, begünstigt. Tritt dieser Spannungsausgleich ein, so wird die Isolierhülle durch einen elektrischen Funken durchschlagen, wodurch sich ein ununterbrochener Weg für die sich ausgleichenden Elektrizitäten bildet, der das Kabel unbrauchbar macht. Für Leitungen, welche Ströme von Spannungen bis zu 500 Volt führen sollen, genügt eine gut getrocknete, imprägnierte Juteumspinnung von 2—3 *mm* Dicke, welche durch einen Bleimantel vor dem Luftzutritte geschützt ist. Wollte man aber Kabel, welche für hohe Spannungen benutzt werden sollen, ebenfalls mit einer solchen Isolierung versehen, so müsste man derselben, wenn nicht die Imprägniermasse ganz ausserordentlich günstige Eigenschaften aufzuweisen hat, eine unverhältnismässig grosse Dicke geben, infolge welcher das Kabel an Umfang bedeutend zunehmen und im Preise steigen würde. Diesem Übelstande hat man durch die Anwendung des Papieres als Isolationsmaterial vollkommen abgeholfen.

Heute werden die sogenannten »Hochspannungskabel« erzeugt, indem man den blanken Kupferleiter vorerst, der in Aussicht genommenen Spannung entsprechend, mit vielen Lagen in einander entgegengesetzten Richtungen gewundener Papierstreifen umwickelt; die auf diese Weise isolierten Leitungen kommen sodann in die gelegentlich der Beschreibung der Telephonkabel-Erzeugung (Seite 95) erwähnten Trockengefässe (Vorwärmer), wo sie, einer hohen Temperatur ausgesetzt, des grössten Teiles der in der Isolierhülle vorhandenen Feuchtigkeit entledigt werden. Hierauf werden sie unter Vakuum abermals erhitzt und mit Zuhilfenahme hygroskopischer Körper, welche ihnen die etwa noch vorhandene Feuchtigkeit entziehen, getrocknet, imprägniert, gekocht, sodann mit einem Bleimantel umpresst und schliesslich etwa noch in geeigneter Weise armiert.

Über die Dimensionen der Isolierhülle solcher Kabel für gegebene Spannungen lassen sich keine bestimmten Angaben machen, da dieselben vornehmlich von der Gründlichkeit des viele Stunden währenden Trockenprozesses und von den mannigfachen, bei jeder Firma anders ausgebildeten Fabrikationseigentümlichkeiten abhängen.

Manche Firmen stellen die Isolierhülle solcher Kabel durch abwechselnde Lagen von Papier- und Juteumspinnungen her, wobei jedoch das Prinzip der Fabrikation dasselbe bleibt. Fig. 87 stellt den Querschnitt eines Hochspannungskabels für Beleuchtungszwecke dar, welches mit einem einzigen starken Bleimantel armiert ist. Fig. 88 zeigt ein Kabel für den gleichen Zweck, jedoch ist dasselbe mit zwei Bleimänteln und einer Bandeisenarmatur versehen.

Sowohl was den metallischen Leiter als was die Isolierhülle samt Armatur betrifft, haben die unaufhörlich steigenden Bedürfnisse der Starkstromtechnik bereits zu gigantischen Dimensionen geführt.

Die Grösse der Kabelquerschnitte ist jedoch mit Rücksicht auf die Handhabung und den Transport beschränkt, weil Kabel von

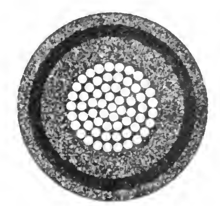


Fig. 87.

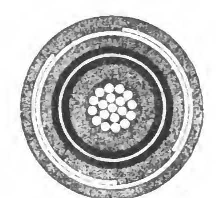


Fig. 88.

bedeutenden Querschnitten sehr schwer zu dirigieren sind, ferner zum Transport nur auf Trommeln von sehr grossem Umfange aufgewunden werden können und schliesslich durch ihr kolossales Gewicht bei geringer Länge den Transport und die Verlegung nur erschweren und behindern.

Immerhin ist man imstande, Kabel bis zu 1000 mm^2 Kupferquerschnitt, wie ein solches mit einem Prüfdrahte in Fig. 89 in natürlicher Grösse abgebildet ist, anzufertigen und zu verlegen.

Bei den bisher besprochenen Starkstromkabeln, welche hauptsächlich für kontinuierliche Gleichströme bestimmt sind, kommen neben den mechanischen Eigenschaften lediglich die Leitungsfähigkeit und die Isolation in Betracht, da der Gleichstrom ruhig durch das Kabel fliesst, ohne hierbei durch Induktion auf Nebenleitungen einzuwirken. Werden aber Wechselströme für Beleuchtungszwecke benutzt, dann müssen auch die Wirkungen der Kapazität und der Induktion in Rücksicht gezogen werden, welche um so kräftiger auftreten, je grösser die Intensität dieser Wechselströme ist.

Die bei Wechselstromkabeln auftretenden Ladungserscheinungen beeinträchtigen einzig und allein die Betriebsfähigkeit des Kabels selbst; die Induktionserscheinungen aber wirken zunächst störend auf benachbarte Kabel und Leitungen und schädlich auf das sie verursachende Kabel ein.

Geht ein Strom in wechselnder Richtung durch eine Hauptleitung, so erzeugt derselbe in einer benachbarten Leitung einen Induktionsstrom, welcher wieder auf den in der Hauptleitung zirkulierenden Strom zurückwirkt und einen Teil der in derselben wirksamen

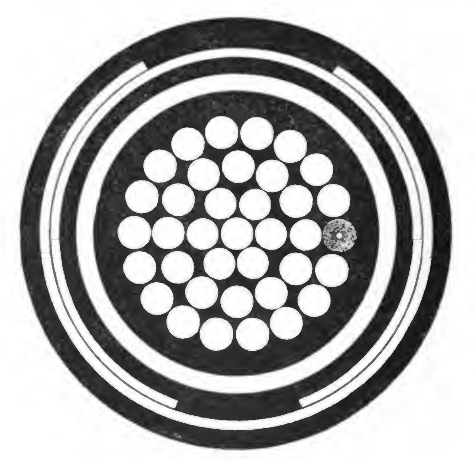
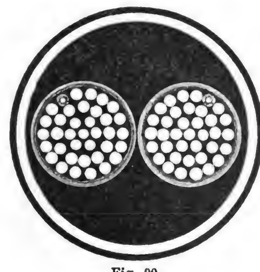


Fig. 89.

elektrischen Energie vernichtet. Bei Lichtleitungen kann man wegen der angewendeten starken Ströme eine Erdleitung nicht gebrauchen, sondern muss stets eine Hin- und Rückleitung benutzen, die gewöhnlich in Kabeln neben einander liegen und bei Wechselstrombetrieb auf einander und auf alle in der Nähe befindlichen Telegraphen- und Telephonleitungen in der eben besprochenen Weise störend einwirken. Diese Induktionserscheinungen erstrecken sich auch auf den Bleimantel, würden aber ganz besonders in einer etwa vorhandenen Eisenarmatur auftreten und durch ihre Rückwirkung den Kabelstrom schwächen. Aus diesem Grunde darf ein einfaches, mit Wechselstrom betriebenes Kabel niemals mit einer Eisenarmatur versehen werden;

man giebt einem solchen Kabel zumeist den in Fig. 87 dargestellten, entsprechend dimensionierten Querschnitt. Diesen schädlichen Erscheinungen kann man teilweise dadurch begegnen, dass man Hin- und Rückleitung mit einander verseilt und gemeinschaftlich mit einem Bleimantel umgiebt (Fig. 90), wodurch die Einwirkung auf anderweitige benachbarte Leitungen wohl behoben wird, die Konstruktion des zweiadrigen Kabels aber einen unverhältnismässig grossen Querschnitt annimmt, der nur beiläufig zur Hälfte ausgenutzt ist. Allen diesen Übelständen wird jedoch abgeholfen, wenn man die beiden Leitungen konzentrisch zu einander anordnet, wobei die eine Leitung die Seele des Kabels und die zweite Leitung einen aus mehreren Drähten zusammengesetzten konzentrischen



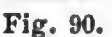


Fig. 90.

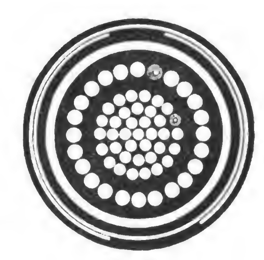


Fig. 91.

Cylinder von gleichem Gesamtquerschnitte bildet, der von erster Leitung entsprechend isoliert ist. (Fig. 91.) Das Ganze ist sodann mit einem Bleimantel umgeben und armiert. Auf diese Weise kann man ein zweiadriges Kabel von grossem Kupferquerschnitt in einem verhältnismässig engen Bleirohre unterbringen und hat noch den grossen Vorteil, dass infolge der symmetrischen Anordnung der beiden Leitungen zu einander jede Induktionswirkung aufgehoben wird, weshalb man solche konzentrische Wechselstromkabel auch mit einer Eisenarmatur versehen kann.

Die Erfindung des sogenannten »Dreileitersystemes« bei Drehstromanlagen hat zu einer weiteren Konstruktion von Kabeln geführt, welche alle drei Leiter in konzentrischer Anordnung enthalten. Fig. 92 stellt ein solches dreifach konzentrisches Kabel in $^3/_4$ natürlicher Grösse vor, dessen jede Leitung einen Querschnitt von 260 mm^2 besitzt. Je zwei Leitungen sind von einander durch einen zwischen den Isolierschichten eingebetteten Bleimantel getrennt; die äusserste Leitung ist ebenfalls von einem Bleimantel umgeben und

das ganze Kabel mit einer Bandeisen-Armatur versehen, welche noch nach aussen durch mehrere abwechselnde Lagen von Compound und Jute geschützt ist.

Die konzentrischen Kabel werden sehr häufig zur Führung von hochgespannten Wechselströmen benutzt. Bei solchen Kabeln werden daher alle Isolierschichten nach den für Hochspannungskabel geltenden Grundsätzen hergestellt.

Die besprochenen Formen von Starkstromkabeln sind die allgemein gebräuchlichen, doch sind bei der Herstellung solcher Kabel

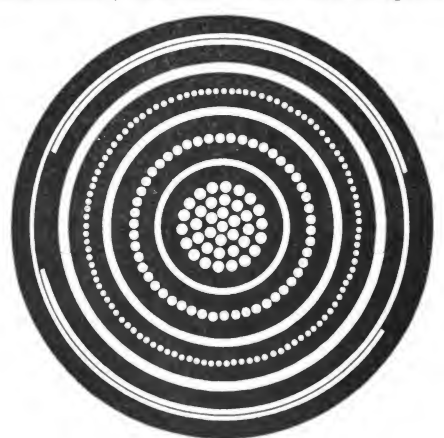


Fig. 92.

stets die jeweiligen lokalen Verhältnisse massgebend, und wenn auch die einzelnen Konstruktionselemente im Wesentlichen immer dieselben bleiben, so ist es doch nötig, dieselben in ihrer Form oder besonderen Beschaffenheit den vorhandenen Bedürfnissen stets anzupassen.

Eine besondere, erwähnenswerte Konstruktion erheischen die in Bergwerken, in welchen sich explodierende Gase ansammeln, verwendeten Lichtkabel. Die elektrische Beleuchtung von Bergwerken wird auch nach und nach immer verbreiteter, und man hat sich eingehend mit der Frage beschäftigt, in welcher Art die hierzu nötigen Lichtkabel konstruiert werden müssen, um im Falle ihres Bruches die Bildung von Funken zu verhindern. Die in Bergwerken verlegten Kabel sind durch herabfallende Steinblöcke etc. sehr häufig

der Gefahr eines Bruches ausgesetzt, und wenn in einem solchen Falle der hierbei an der Bruchstelle auftretende Funke mit den explosiblen Gasen in Berührung kommt, so ist eine Katastrophe unvermeidlich. Die bisherigen Kabelkonstruktionen, durch welche dieser Gefahr begegnet werden soll, stimmen darin überein, eine Doppelleitung, und zwar eine Haupt- und eine Hilfsleitung, zu benutzen, die in einer gemeinschaftlichen Umhüllung derart angeordnet sind, dass die eine Leitung notwendigerweise früher unterbrochen werden muss als die andere; dann ist die erste Wirkung des Bruches die, dass die Stromstärke in der anderen noch unzerstörten Leitung plötzlich, wenn auch nur für sehr kurze Zeit, bedeutend zunimmt, wodurch ausserhalb der gefährlichen Regionen oder ausserhalb der Grube durch irgend eine Vorrichtung, sei es nun eine Abschmelzvorrichtung oder ein automatisch hergestellter Erdschluss, der Strom im Kabel sofort unterbrochen wird.

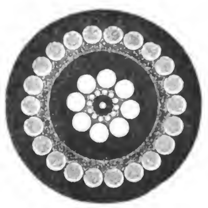


Fig. 93.

Die Konstruktionsfrage explosionssicherer Kabel wurde in verschiedener Weise gelöst. Es bestand die Hilfsleitung aus einem spiralförmig um die Hauptleitung gewundenen Drahte, der infolge dieser Anordnung erst viel später als der gerade Hauptdraht brechen konnte. Bei anderen Kabeln brach wieder die Hilfsleitung zuerst, wodurch eine Ausschaltevorrichtung in Thätigkeit gesetzt wurde. Ein neues, von Nolet konstruiertes Sicherheitskabel besteht aus kürzeren, auswechselbaren Stücken, die mittels Muffen derart zusammengesetzt werden, dass an den Verbindungsstellen jede der beiden Leitungen eine besondere, über dieselbe greifende Muffe hat, von denen die der Hilfsleitung wesentlich kürzer ist als die andere; deshalb wird, wenn zwei mit einander verbundene Kabelstücke aus einander gezerrt werden, die Hilfsleitung zuerst unterbrochen werden und der in dieselbe eingeschaltete, ausserhalb der Grube befindliche Ausschalter den Strom in der ganzen Leitung unterbrechen. Die Hilfsleitung besteht aus einem Drahte, die Hauptleitung aus einem denselben umgebenden, aussen und innen isolierten Rohre; in der Hilfsleitung ist die Stromrichtung jener der Hauptleitung entgegengesetzt. Ein ähnlich konstruiertes explosionssicheres Kabel ist in Fig. 93 dargestellt, wie es von der Firma Felten & Guilleaume für Bergwerke erzeugt wird.

II. Teil.

Die Verlegung der Kabel.

Allgemeines.

Eine weitere wichtige Aufgabe des Kabeltechnikers ist die Verlegung der Kabel an den Ort ihrer Verwendung.

Sowohl die Bestimmung des Kabels als auch der Ort, an welchem es gelegt werden soll, und die Art und Weise der Verlegung bilden die ersten Grundbedingungen für seine Konstruktion. In vielen Fällen kommt der Kabeltechniker in die Lage, über die Wahl und Konstruktion der Kabel für projektierte Anlagen Vorschläge machen zu müssen, und dies ist er nur dann im Stande, wenn er über die Bestimmung des Kabels, den Ort und die Art und Weise der Verlegung bereits ein klares Bild gewonnen hat. Wird ein unterirdisch zu verlegendes Kabel beispielsweise in Röhren eingezogen, so wird der Kabeltechniker gewiss eine andere Konstruktion vorschlagen, als wenn das Kabel in einen Graben gebettet werden soll. Ein unter Wasser zu legendes Kabel, welches in grosse Tiefen versenkt werden soll, muss ganz andere Dimensionen aufweisen als ein in seichtes Wasser zu legendes Kabel. Es ist daher vor allem anderen nötig, über den Weg, welchen die projektierte Leitung nehmen soll, klar zu sein; erst dann kann zu der Erzeugung des hierfür geeigneten Kabels geschritten werden.

Weiter ist in Betracht zu ziehen, dass jedes Kabel immer nur in Stücken von beschränkter Länge erzeugt werden kann, welche bei wachsendem Querschnitte des Kabels abnimmt, und dieser Umstand macht in allen grösseren Kabelanlagen das Zusammenfügen zweier oder mehrerer Fabrikationslängen erforderlich. Auch die Herstellung dieser Verbindungsstellen (Spleissstellen) hängt vom Orte der Verwendung des Kabels ab; sie muss bei submarinen Kabeln eine ganz andere sein als bei unterirdischen Kabeln. — Bei unterirdischen Kabelanlagen sind ferner immer die notwendigen Abzweigungen zu berücksichtigen. Die Punkte, an welchen solche

Abzweigungen hergestellt werden müssen, sind vorerst festzustellen, wobei man jedoch nicht nur den momentanen Bedarf, sondern auch die bei eventueller Erweiterung des Kabelnetzes voraussichtlich nötig werdenden Abzweigepunkte gleich bei der ersten Anlage ins Auge fassen soll. Sind diese Punkte bestimmt, so ist bei der Länge der zu erzeugenden Kabel darauf Rücksicht zu nehmen, dass die erforderlichen Spleissstellen mit den Abzweigepunkten nach Thunlichkeit zusammenfallen und von den Fabrikationslängen keine allzubedeutenden Reste abfallen.

In den gelegentlich der Rekognoszierung der für die Kabellegung bestimmten Strecke anzufertigenden Plänen, welche die genaue Trasse des Kabels enthalten müssen, sind ferner sorgfältige Aufzeichnungen bezüglich der Bodenbeschaffenheit in allen Teilen der Strecke, eventuell auch bezüglich der Oberfläche, unter welche das Kabel verlegt werden muss, und endlich bezüglich aller im Zuge des Kabels liegenden Hindernisse zu machen. Bei allen diesen Hindernissen, welche in Form von Baulichkeiten, Kanälen, Gas- oder Wasserleitungen, Wasserläufen u. s. w. vorhanden sein können, ist genau anzugeben, ob dieselben umgangen, durchbrochen, über- oder unterfahren werden sollen, und es müssen diese Pläne mit allen jenen Angaben versehen werden, welche für die Verlegungsarbeiten einigermassen von Wichtigkeit sein können.

Auf die Sorgfalt in diesen Aufzeichnungen ist das grösste Gewicht zu legen, da einerseits die rationelle Verteilung der Arbeitskräfte, welche bei raschem Fortschritte der Arbeiten unumgänglich nötig erscheint, nur auf diese Weise möglich ist, anderseits aber durch rechtzeitige Kenntnis aller während der Kabellegung etwa auftretenden Schwierigkeiten die Möglichkeit geboten wird, bei Zeiten die richtigen Massnahmen zu treffen.

Die Verlegung selbst muss mit grösster Umsicht und Präzision vor sich gehen, denn ein schlecht verlegtes Kabel kann, wenn es vor seiner Verlegung noch so gut war, in kürzester Zeit an Qualität derart abnehmen, dass es den gestellten Anforderungen entweder nur unvollkommen oder überhaupt nicht zu entsprechen vermag. Die zur Verlegung bestimmten Kabelstücke müssen derart transportiert werden, dass sie während ihrer Verführung in keiner Weise Schaden nehmen können. Die Behälter oder Trommeln, welche die Kabel zum Transport aufnehmen sollen, sind so zu konstruieren, dass man die Kabel während der Verlegung leicht von denselben abwinden kann, ohne sie dabei der Gefahr einer Beschädigung auszusetzen.

Die grösste Sorgfalt ist jedoch der Herstellung der Verbindungs- und Abzweigestellen zuzuwenden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass diese Stellen dem durchfliessenden Strome keinen erheblichen

Leitungswiderstand entgegensetzen, dass sie gegen die äussere Oberfläche des Kabels und gegen die Erde vorzüglich isoliert sind, daher keine Stromverluste zulassen, und endlich sehr dauerhaft und, wenn es im Bereiche der Möglichkeit liegt, leicht zugänglich sind, um allenfalls notwendige Reparaturen oder Veränderungen an denselben ohne Schwierigkeiten ausführen zu können.

Im allgemeinen kann die Kabellegung unter der Erde oder unter Wasser vorgenommen werden. Im besonderen wäre noch die Verlegung von Leitungen innerhalb von Gebäuden zu erwähnen, welche Leitungen direkt zu dem Orte der Verwendung des die Kabel durchfliessenden Stromes führen, allein nachdem die Verlegung dieser Leitungen eigentlich nicht mehr Aufgabe des Kabeltechnikers ist, sondern in den meisten Fällen den Installateuren der elektrischen Anlagen zufällt, so sollen hier auch nur die beiden oben erwähnten Arten der Kabellegung, nämlich die Verlegung unterirdischer Kabel und die Verlegung submariner Kabel, einer kurzen Besprechung unterzogen werden.[1])

I.

Die Verlegung unterirdischer Kabel.

Bei der Verlegung unterirdischer Kabel entwickelten sich im allgemeinen zwei Methoden, welche beide gegenwärtig vielfach zur Anwendung gelangen. Die eine Methode, welche gleichzeitig die ältere und einfachere ist, besteht darin, dass man das Kabel in einen Graben bettet und es daselbst entweder ohne jedweden Schutz in die blosse Erde legt oder in geeigneter Weise gegen äussere Angriffe schützt. Diese Methode hat vor allem die Billigkeit für sich und eignet sich daher am besten für lange, interurbane Linien; sie hat aber den Nachteil, dass der Graben jedesmal frisch aufgeworfen werden muss, sobald man entweder an dem liegenden Kabel eine Reparatur vorzunehmen hat oder demselben ein weiteres Kabel hinzufügen will. Überall dort, wo sich längs der Kabeltrasse ein lebhafter Strassenverkehr abwickelt, macht sich dieser Mangel unangenehm bemerkbar, und sowohl aus diesem Grunde als auch aus ästhetischen Rücksichten ist die Anwendung dieser Methode in grösseren Städten immer mit Schwierigkeiten verknüpft. Hier greift man, durch die Umstände gezwungen, häufig zur zweiten, allerdings

---

[1]) Bezüglich der in Gebäuden zu verlegenden Leitungen siehe: A. Peschel, Hilfsbuch für die Montage elektrischer Leitungen zu Beleuchtungszwecken. — Oskar Leiner, Leipzig 1896.

viel kostspieligeren Methode, indem man die zu verlegenden Kabel durch bereits zu diesem Zwecke unterirdisch verlegte Röhren hindurchzieht. Wenn nun bei der Röhrenanlage gleich von allem Anfang her eine Vermehrung der erforderlichen Kabelstränge berücksichtigt wurde, so kann die Kabellegung erfolgen, ohne dass die Strassen aufgerissen werden und ohne dass der Verkehr hierdurch irgend welche Störungen erleidet. Ebenso sind bei diesem Systeme auch alle Reparaturen leicht durchzuführen, ohne dass hierdurch das Strassenbild eine Veränderung erfahren müsste. Zu einem dritten Systeme griff man übrigens auch in Paris, indem man die unterirdischen Kabel zum Teil in grossen Hauptkanälen führt und sie daselbst an allen Punkten zugänglich aufhängt. Diese Methode wäre wohl für grosse Städte sehr empfehlenswert, ist jedoch nur dort möglich, wo der Querschnitt und die Konstruktion der Kanäle eine sichere Anbringung der Kabel gestattet.

Die Verlegung der Kabel in Gräben.

Nachdem die bereits besprochenen Vorarbeiten bezüglich der Feststellung der Trasse beendet sind, hat man vorerst alle Vorkehrungen zu treffen, um die bei der Kabellegung erforderlichen Arbeiten, die in der Herstellung des Grabens, der Legung des Kabels, dem Zuwerfen des Grabens und endlich in der Wiederherstellung der Strassenoberfläche bestehen, rationell und ohne Verzögerungen durchführen zu können. Es ist daher eine richtige Verteilung der vorhandenen Arbeitskräfte längs der ganzen Kabeltrasse in erster Linie nötig. Bei allen jenen im Kabelzuge gelegenen Hindernissen, welche längere, schwierigere Arbeiten erfordern, ist zuerst zu beginnen und das Kabelbett so weit vorzubereiten, dass an diesen Punkten die Legung des Kabels nicht verzögert oder unterbrochen werden muss. Es werden also die Arbeiter in einzelne Partien eingeteilt, die sachkundigen Handwerker vorerst an die erwähnten Punkte dirigiert, eine Partie zum Ausheben des Grabens, eine Partie zur eigentlichen Kabellegung, eine Partie zum Zuwerfen des Grabens und die letzte Arbeiterpartie zum Wiederherstellen der Strassenoberfläche verwendet. Wenn die Arbeiten der erstgenannten Arbeiterpartie so weit vorgeschritten sind, dass sie zweifellos fertig sind, bis die mit der Kabellegung beschäftigten Arbeiter an diesen Punkten eintreffen können, wird am Ausgangspunkte des Kabels mit der Herstellung des Grabens begonnen.

Folgt die Kabeltrasse einer mit Bäumen bepflanzten Landstrasse, so soll die Nähe der Bäume wo möglich vermieden und der Graben mehr gegen die Mitte der Strasse zu aufgeworfen werden. In den

Strassen von Städten führt man den Graben entweder in der Fahrbahn längs der Randsteine der Trottoirs oder in der Mitte der Trottoirs, wobei scharfe Biegungen mit Rücksicht auf die Steifheit des zu legenden Kabels vermieden werden müssen. Im übrigen ist jedoch bei Bestimmung der Kabeltrasse auf die vorhandenen Kanalisierungen und alle sonstigen Hindernisse Rücksicht zu nehmen.

Die Tiefe des Grabens richtet sich zunächst nach der Konstruktion des Kabels, bezw. nach dem im Kabel verwendeten Isoliermateriale. Kabel, deren Isoliermaterial gegen Erwärmung geschützt werden muss, wie dies bei Guttaperchakabeln der Fall ist, müssen unbedingt tiefer gelegt werden als andere Kabel, welche durch den Einfluss der Sonnenwärme keinen Schaden nehmen können. Für die Legung von Guttaperchakabeln soll der Graben mindestens 1 *m* Tiefe haben, während für Kabel mit Kautschuk-, Papier- oder Faser-Isolation bereits eine Grabentiefe von 50—60 *cm* ausreicht.

Ist die Bodenbeschaffenheit und die Konstruktion des Kabels derart, dass ein weiterer Schutz des Kabels nicht nötig ist, dass also das Kabel direkt in die Erde verlegt werden kann, so genügt es, wenn die Grabensohle nur so breit ausgehoben wird, dass der mit dem Aufwerfen des Grabens beschäftigte Arbeiter festen Fuss fassen kann. Erhält das Kabel jedoch noch einen weiteren Schutzkanal, dessen Herstellung später besprochen wird, so muss die Grabensohle selbstverständlich der Breite dieses Schutzkanals entsprechen. Sie muss schliesslich möglichst eben sein und von allen spitzen Steinen freigemacht werden, damit das Kabel in allen Punkten eine gleichmässige Unterlage findet und nicht etwa infolge von Durchbiegungen durch äusseren Druck Zerrungen oder sonstigen Beschädigungen ausgesetzt wird. Ist man durch Kloaken-, Gas- oder Wasserleitungen genötigt, mit dem Kabel unter denselben hinwegzugehen, so soll die Grabensohle nach dem tiefsten Punkte beiderseits ein allmähliches Gefälle erhalten. Die Böschung des Grabens hängt von der Bodenbeschaffenheit ab, soll aber in allen Fällen thunlichst steil sein, damit die Erdbewegung und daher auch die hierzu erforderliche Arbeitszeit so gering als möglich ausfällt. Beim Ausheben des Grabens wird das Material, welches die Strassenoberfläche bildet, also Pflastersteine, Kies, Bruchsteine etc., auf die eine Seite, das ausgehobene Erdreich dagegen auf die andere Seite des Grabens geworfen.

Bei der Herstellung des Grabens ist für die Aufrechterhaltung des Strassenverkehrs möglichst Sorge zu tragen, und an Strassenkreuzungen, wo das Kabel eine Strasse übersetzen soll, ist dies ganz besonders nötig. An solchen Punkten sind die Strassen so lange als möglich unberührt zu lassen; erst unmittelbar vor der mit der

Legung betrauten nachrückenden Arbeiterpartie wird dann der Graben ausgehoben und etwa durch mitgeführte Notbrücken überbrückt. In der Strecke, wo das Kabel bereits liegt, wird der Graben durch die folgende Arbeiterpartie zugeschüttet und festgestampft, und eine weitere Arbeiterabteilung stellt sodann die Strassenoberfläche wieder her.

Bei manchen Kabelstrecken kann ausser dem schützenden Erdreich noch ein weiterer Schutz des Kabels notwendig werden. Ein solcher Schutz wird häufig entweder durch die Bodenbeschaffenheit, schädlich einwirkende Gase, Säuren etc. oder dort geboten, wo das Kabel öfter durch Strassenarbeiten gefährdet werden kann, welch letzterer Fall zumeist in Städten zu befürchten ist.

In solchen Fällen muss das Kabel entweder nach allen Seiten oder nur nach der am meisten gefährdeten Richtung geschützt werden, und man hat zu diesem Zwecke verschiedene Hilfsmittel erdacht. Ein einfaches Mittel, das Kabel nach allen Seiten zu schützen, besteht darin, dass man die Grabensohle in ihrer ganzen Länge mit einem geteerten oder sonst imprägnierten Brett belegt und an beiden Seiten der Sohle ebensolche Bretter hochkantig aufstellt. Die auf diese Weise hergestellte Rinne kann man dann mit Asphalt oder geteertem Sande ausfüllen, das Kabel hineinlegen und sodann wieder durch ein darauf gelegtes imprägniertes Brett nach oben abschliessen.

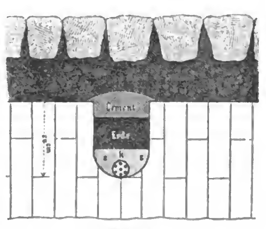


Fig. 94.

Weiter bedient man sich zum Schutze des Kabels gewöhnlicher gebrannter Thonziegel, durch welche in derselben Weise wie mit den Brettern ein Kanal hergestellt wird, in welchem das Kabel nach allen Seiten geschützt ist. In vielen Fällen begnügt man sich jedoch damit, das Kabel nur nach oben zu schützen; man stellt auf beiden Seiten der Grabensohle eine Reihe Ziegel hochkantig auf, legt dazwischen das Kabel auf die blosse Erde und bedeckt es durch eine dritte Reihe flach gelegter Ziegel, wodurch es gegen gefährliche Spatenstiche und Schläge von Arbeitern in ziemlich ausgiebiger Weise geschützt ist.

An besonders exponierten Stellen muss man ein etwas massiveres Ziegelbett herstellen, oder man zieht das Kabel durch thönerne oder eiserne Schutzrohre, welch letzteres System später näher besprochen werden wird. In Fig. 94 ist ein derartiges massives Ziegelbett dargestellt. Das Kabel K liegt in einer gemauerten Rinne, ist mit

geteertem Sande *s* umgeben und letzterer mit Erde bedeckt. Die Rinne ist nach oben durch eine Cementschicht vollständig abgeschlossen.

Wie bereits erwähnt wurde, kommen die Kabel in einzelnen Fabrikationsstücken zur Verlegung, deren Länge um so geringer, je grösser der Querschnitt des Kabels ist. Diese Fabrikationsstücke werden bereits während der Erzeugung auf hölzerne Kabeltrommeln von passenden Dimensionen und entsprechender Tragfähigkeit aufgewunden. Die Flanken dieser Trommeln haben in ihrem Mittelpunkte je eine mit Eisen beschlagene Bohrung, die das Hindurchstecken eines als Achse dienenden Rundeisenstabes gestattet, um welchen die Trommel bei entsprechender Unterstützung gedreht werden kann. Für den Transport wird das aufgewundene Kabel, wenn es vor der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen, also vor Erwärmung, bewahrt werden soll, am besten mit einer Schicht Stroh umgeben, und, um es vor mechanischen Beschädigungen zu schützen, umnagelt man die Trommel mit einem Mantel von Brettern. In diesem Zustande werden die vollen Kabeltrommeln an die Verlegungsstelle zugeführt.

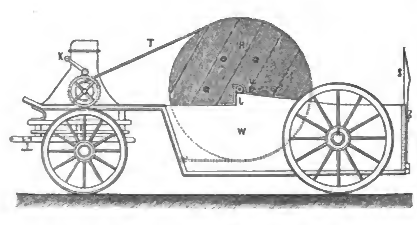


Fig. 95.

Zum Auslegen leichterer Kabel, welche in langen Fabrikationsstücken zur Verlegung gelangen, bedient man sich mit Vorteil eigens hierzu eingerichteter, mit Pferden bespannter Kabelwagen, deren einer in Fig. 95 dargestellt ist. Die Achse *A* ist ⅂⊔⌈ förmig gebogen und ermöglicht daher ein leichtes Einführen der vollen Trommel *H* in den Wagenkasten *W*. Zu diesem Zwecke wird die an der Rückseite des Wagenkastens angebrachte starke Thüre *S* nach abwärts umgeklappt und das Tau *T* um die Trommel herumgewunden. Das eine Ende des Taues ist fest mit dem Inneren des Wagenkastens verbunden, während das zweite Ende um eine Windetrommel geschlungen ist. Dreht man nun die Kurbel *K*, welche mittels eines Vorgeleges die Windetrommel bewegt, so wird die schwere Kabeltrommel von rückwärts langsam in den Wagen hineingerollt; der durch die Kabeltrommel als Achse hindurchgesteckte Rundeisenstab wälzt sich mit der daran hängenden Trommel längs der abgeschrägten Oberkanten der Bordwände des Wagens bis zum Punkte *L*, wo er in ein Lager einfällt und daselbst durch das Überwurfstück *u* festgehalten wird.

Dieser Kabeltransportwagen stand bei der ersten grossen deutschen Untergrundlinie Berlin-Halle in Verwendung und ist nur für einen sehr beschränkten Trommeldurchmesser eingerichtet, während der in Fig. 96 dargestellte Kabeltransportwagen Trommeln von verschiedener Grösse aufnehmen kann. Auf den beiden Bordwänden des Wagens sind starke, schmiedeeiserne, um ein Scharnier *s* drehbare Schienen *S* angebracht, deren jede in ihrer Mitte ein Lager *L* trägt, welches zur Aufnahme der Achse der Kabeltrommel *K* bestimmt ist. Die letztere wird auf ähnliche Weise wie bei dem früher beschriebenen Kabelwagen von rückwärts in den Wagen hineingerollt, und wenn die Trommel-

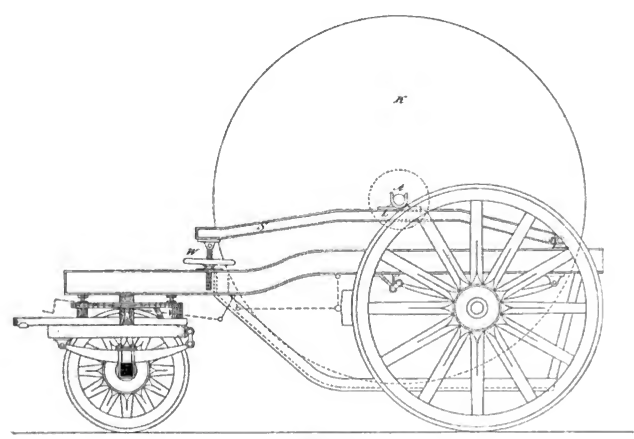


Fig. 96.

achse *A* über dem Lager *L* angelangt ist, werden die beiden Schienen *S* mittels je einer Schraubenwinde *W* emporgewunden, die Achse *A* fällt in das Lager *L* ein und die Kabeltrommel wird so weit gehoben, als zu ihrer freien Bewegung beim Abrollen des Kabels notwendig ist.

Zum Auslegen wird der beladene Kabeltransportwagen beim Ausgangspunkte des Kabels aufgestellt, das äussere Ende des Kabels durch Arbeiter festgehalten und sodann der Wagen längs des Grabens mit mässiger Geschwindigkeit in Bewegung gesetzt. Hierdurch gerät die Trommel in Rotation, das Kabel wickelt sich ab und wird von den nachfolgenden Arbeitern in den Kabelgraben eingelegt. Falls

die drehende Bewegung der Trommel sich beschleunigen und daher mehr Kabel abgerollt werden sollte, als der Vorwärtsbewegung des Wagens entspricht, so muss die Trommel in geeigneter Weise gebremst werden.

Beim Verlegen schwerer Kabel von grossem Querschnitte bedient man sich gewöhnlich nicht eines Kabeltransportwagens der beschriebenen Konstruktion, da die kurzen Fabrikationsstücke ein allzu häufiges Auswechseln der Kabeltrommel nach sich ziehen würden; man rollt vielmehr die Trommeln längs des Grabens am Boden fort, wobei sich das Kabel abwickelt und sodann, wie früher, durch Arbeiter in den Graben gebracht wird.

Nachdem man sich davon überzeugt hat, dass das ausgelegte Kabelstück überall gut auf der Grabensohle aufliegt und gerade ausgestreckt ist, wird der etwa vorhandene Schutzkanal aus Brettern oder Ziegeln in der vorbeschriebenen Weise ausgefüllt, verschlossen und hierauf sofort der Graben zugeschüttet und festgestampft. Die letzte Arbeiterpartie stellt sodann die Strassendecklage wieder her. —

Beim Auslegen der einzelnen Kabelstücke ist dafür Sorge zu tragen, dass ihre Enden entsprechend über einander greifen, damit die Verbindung der Adern derselben bequem vorgenommen werden kann. An diesen Stellen wird der Graben offen gelassen, auf etwa 1,5 *m* im Gevierte erweitert und der Boden dieser Grube mit Brettern belegt. Über das Ganze spannt man nun ein einfaches Zelt aus, welches den mit der Spleissung der Adern beschäftigten Monteuren als Schutz gegen Wind und Regen dient, und bringt dann die zur Arbeit erforderlichen Werkzeuge und Materialien in die Grube.

Die gute Herstellung der Verbindung der einzelnen Kabeladern ist eine der schwierigsten und wichtigsten Arbeiten bei der Kabellegung und erfordert daher grosse Genauigkeit, Aufmerksamkeit und Geschicklichkeit und dabei peinlichste Sauberkeit der mit dieser Arbeit betrauten Monteure.

Die metallische Verbindung der kupfernen Leiter muss vollkommen, das an der Verbindungsstelle aufgetragene Isoliermaterial darf nicht viel stärker als die isolierte Ader selbst sein, und ein etwa auf das Kabel ausgeübter Druck darf weder die Lötstelle noch die darüber gebrachte Isolierung beeinflussen.

Die tadellose Spleissung zweier Guttaperchakabel ist die schwierigste aller Spleissungen und soll deshalb hier etwas eingehender besprochen werden.

Etwa 40—50 *cm* von den Enden der zu verbindenden Kabelstücke stellt man aus starkem, gutem Bindedraht einen festen Bund her, um das Aufwickeln der Armatur, bezw. der Hanfumspinnung, hintanzuhalten. Vom Kabelende bis zu diesem Bunde wickelt man

die äussere Hanfumspinnung, die Armatur und die Isolierung auf und biegt alles bis zum Bunde sorgfältig zur Seite. Hierauf reinigt man die Guttaperchaadern mit Naphtha von Teer, Fett oder Schmutz auf das beste und trocknet sie sorgfältig ab. Mit einem eigenen Messer entfernt man nun behutsam die Guttaperchahülle von der Kupferader, ohne dabei aber die letztere zu verletzen. Besteht die Kupferader aus einer mehrdrähtigen Litze, so reinigt man jeden einzelnen Draht mit Naphtha und feinem Schmirgelpapier, dreht die Drähte wieder zusammen und verlötet sie. Hierbei verwendet man besser Harze oder Salmiak, statt Chlorzinklösung, da letztere leicht eine spätere Oxydation der Lötstelle verursachen kann. Das Silberlot ist übrigens allen anderen Lötungen unbedingt vorzuziehen.

Die an ihren Enden verlöteten Kupferlitzen feilt man dann auf etwa 1,5 *cm* Länge schräg ab, so dass die Enden zweier zu verbindenden Kupferlitzen genau auf einander passen, lötet die beiden so entstandenen Flächen zusammen und schlichtet alle etwa vorstehenden Kanten oder Spitzen mit einer Feile sorgfältig ab. Diese Lötstelle wird nun mit einem beiläufig 0,75 *mm* starken Kupferdraht an beiden Enden etwas übergreifend fest umwickelt und letzterer in der ganzen Länge der Lötstellen verlötet. Über diesen Bund bringt man nun noch eine zweite Umwickelung feinen Kupferdrahtes, welche die untere an beiden Enden um etwa 10 *mm* überragen soll und welche nur an den Enden an die Kupferader angelötet wird. Diese zweite Bewickelung hat den Zweck, im Falle eines Bruches der unter ihr befindlichen Lötstelle die Stelle des metallischen Leiters einzunehmen. In gleicher Weise werden alle zusammengehörigen Adern der beiden Kabelenden mit einander verlötet und mit Naphtha sorgfältig gereinigt. Hierauf wird zu der Herstellung der Guttaperchahülle geschritten.

Mit Hilfe einer Naphthalampe verteilt man zuerst ein wenig Chatterton-Compound auf die ganze Länge der blank liegenden Kupferader, bis dieselbe überall gleichmässig bedeckt ist. Sodann erwärmt man die Guttaperchahülle der Kupferader zu beiden Seiten der Lötstelle auf etwa 5 *cm* und schiebt dieselbe, vorsichtig drehend, mit schwacher Verjüngung bis zur Mitte der Lötstelle. Nachdem dies auf beiden Seiten der Lötstelle geschehen, verteilt man durch Erwärmen und Kneten mit den Fingern diesen ersten Überzug recht gleichmässig auf der ganzen Länge der Verbindungsstelle, bis derselbe konzentrisch um den Kupferleiter angeordnet und völlig rund geworden ist. Nun wird die ganze Lötstelle abermals erwärmt, eine zweite Schicht Compound aufgetragen und mit einem Glätteisen gut verteilt und geglättet, worauf ein weiterer Guttapercha-Überzug hergestellt wird. Man schneidet zu diesem Behufe von einer entsprechend

starken Guttaperchaplatte ein Stück ab, dessen Länge die ganze Spleissstelle auf jeder Seite um etwa 1 *cm* überragt und so breit ist, dass sie den Umfang der Ader reichlich bedecken kann, reinigt dieses Guttaperchastück gut mit Naphtha, erwärmt es, drückt es in seiner Mitte von unten an die Spleissstelle an, legt es unter fortwährendem Erwärmen um die Adern herum und schneidet die an der Naht vorstehenden Enden sauber ab. Nun wird diese künstliche Guttapercha-Hülle an die Ader festgedrückt, alle etwa miteingeschlossene Luft oder Feuchtigkeit durch Kneten und Pressen mit den Fingern entfernt und die Naht in gleicher Weise gut geschlossen.

Mit dem Glätteisen wird nun die ganze Oberfläche gut geglättet und abgerundet und an den Enden mit der weiteren Guttapercha-Hülle innig verbunden. Es kann nach einer abermaligen Compound-Auflage noch eine weitere Guttaperchalage auf die Lötstelle gebracht werden, wobei jedoch zu beachten ist, dass die Nähte der beiden Guttaperchalagen nicht auf einander fallen. Auch pflegt man statt der besprochenen Isolierung unter Beobachtung der angeführten Vorsichtsmassregeln einen Guttaperchastreifen spiralförmig um die Ader zu wickeln. Schliesslich wird die Spleissstelle noch wiederholt geglättet und mit Chatterton-Compound überzogen, bis die ganze neu hergestellte Isolierhülle mit der anschliessenden alten ein homogenes Ganzes bildet. Auf dieselbe Art werden alle Adern isoliert und sodann auf elektrischem Wege auf ihre Isolationsfähigkeit geprüft.

Nachdem der Elektriker die Überzeugung gewonnen hat, dass alle Adern gut verbunden sind, werden die weiteren Schichten der Kabelstücke mit einander vereinigt.

Man umwickelt die Adern mit Hanf, wobei auch jener von den beiden Kabelenden abgewundene zu verwenden ist, legt die vorhandene Eisenarmatur sorgfältig herum und bewickelt die ganze Verbindungsstelle fest mit etwa 2 *mm* starkem, verzinktem Eisendraht. Über die Verbindungsstelle wird sodann eine gusseiserne, gewöhnlich aus zwei Teilen bestehende Muffe gelegt, welche luftdicht abzuschliessen ist und entweder durch Verschraubung der beiden Hälften oder durch vorher auf die Kabelenden gesteckte Ringe festgehalten wird.

Die Verbindung zweier Kautschukadern erfordert nicht mindere Sorgfalt und Genauigkeit als die Vereinigung zweier Guttaperchaadern. Nachdem die Enden der Kautschukadern auf eine entsprechende Länge blank gelegt wurden, indem man die Kautschukhülle bleistiftartig zugespitzt hat, erfolgt die Verbindung der metallischen Leiter in gleicher Weise, wie dies bei den Guttaperchaadern beschrieben wurde. Die Isolation der Verbindungsstellen wird mit etwa 1 *cm* breiten Gummistreifen bewirkt, indem man dieselben, den Gummischichten der Ader entsprechend, spiralförmig in entgegengesetzten

Richtungen um die Lötstelle wickelt und mit den einzelnen Lagen der bleistiftförmig zugespitzten Gummiisolierung der Ader innig verbindet.

Die Verschmelzung der einzeln aufgebrachten Gummischichten kann in der Weise vorgenommen werden, dass man die Verbindungsstelle einige Zeit in eine Harzmischung eintaucht, welche durch Erwärmen auf eine Temperatur von etwa 95° C gebracht wurde.

Bei der Verbindung einzelner Kabellängen der vieladrigen Telephonkabel ist man von der Vereinigung der Adern durch Löten und Isolierung jeder einzelnen Ader abgegangen und bedient sich für diesen Zweck eigener Verbindungskästen, deren einer im Nachfolgenden kurz beschrieben werden soll. Fig. 97 stellt den Längsschnitt eines Verbindungskastens für ein 102-doppeladriges Telephonkabel dar, wie solche von der Wiener Firma Franz Tobisch erzeugt werden. Dieser Kasten besteht im wesentlichen aus einer gusseisernen Schale, welche mittels Verschraubung durch einen ebensolchen Deckel verschlossen

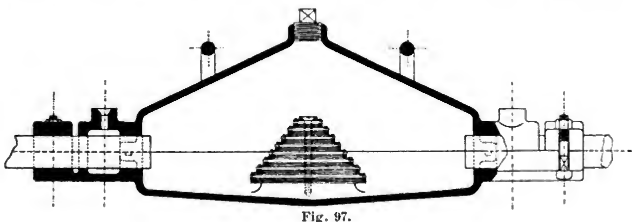


Fig. 97.

werden kann. Die Kabelenden werden, nachdem sie hierzu entsprechend vorbereitet wurden, durch angegossene Verlängerungen zu beiden Seiten in den Kasten eingeführt und festgeklemmt; die einzelnen Adern werden sodann mit den in der Mitte der Schale angebrachten und gegen die Erde gut isolierten Messinglammellen mittels Klemmschrauben verbunden, worauf der Deckel des Kastens aufgeschraubt wird. Letzterer besitzt in seiner Mitte eine verschliessbare Öffnung, welche den Zweck hat, den bereits zugeschraubten Kasten von oben mit einer Isoliermasse vollständig ausgiessen zu können, um die Einwirkung der Feuchtigkeit des Erdbodens, in welchem der Kasten eingegraben ist, zu verhindern. Obwohl dieser kreisrunde Verbindungskasten einen inneren Durchmesser von nur 490 *mm* und eine Höhe von 300 *mm* besitzt, gestattet derselbe doch die Verbindung sämtlicher 204 Telephonadern in bequemer und sicherer Weise durchzuführen. Die genannte Firma führt in ähnlicher Weise auch Abzweigekästen und Endverschlüsse für Telephonkabel aus, deren Konstruktion die gleichen Vorzüge besitzt.

Es erübrigt nur noch, einiges über die Verbindung und Abzweigung von Starkstromkabeln zu erwähnen.

Die unmittelbare Verbindung zweier Kabeladern geschieht auf ganz ähnliche Art, wie sie bei Kautschukadern vorgenommen wird. Die einzelnen Litzendrähte werden mit einander verlötet, das Ende der Litze sodann schräg abgefeilt und mit dem ebenso bearbeiteten Ende des zu verbindenden Kabelstückes zusammengelötet,

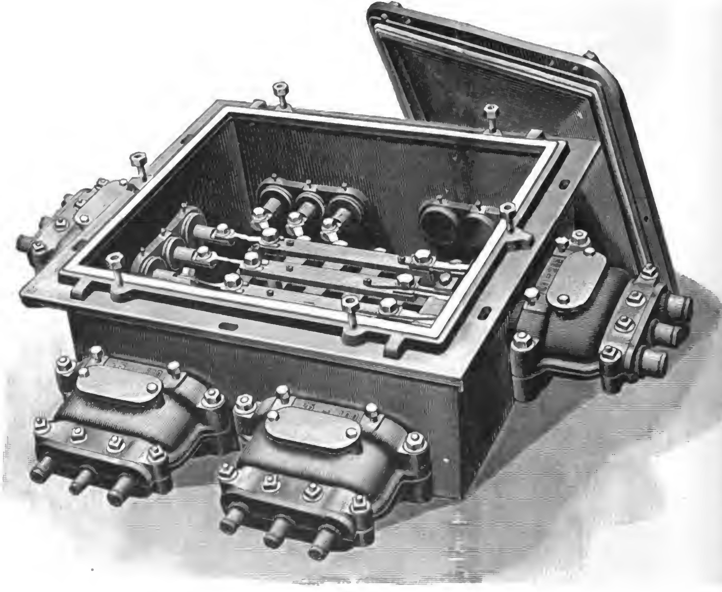


Fig. 98.

worauf die Lötstelle mit Bindedraht fest umwickelt und ebenfalls verlötet wird. Nachdem man ferner die ganze Verbindungsstelle mit einer Schicht Chatterton-Compound umgeben und mit mehreren Lagen Gummibandes umwickelt hat, umgiebt man sie mit einer Hanf- oder Juteschicht und versieht das Ganze bei Bleikabeln etwa noch mit einer Bleihülle, indem man sich in analoger Weise wie bei der Isolierung der Verbindungen von Guttaperchaadern einer dünnen

Bleiplatte bedient, welche um die Lötstelle herumgebogen und festgelötet wird. Sind die Kabel mit einer Armatur versehen, so wickelt man dieselbe von beiden Enden aus über die Verbindungsstelle und umgiebt sie endlich mit einem festen Drahtbund, oder man legt die

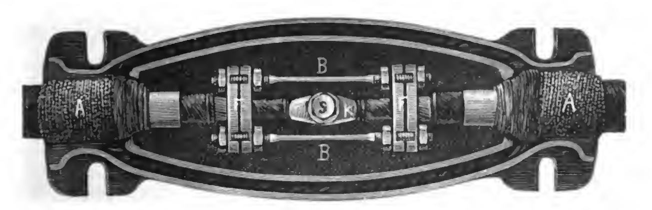


Fig. 99.

ganze Verbindungsstelle in eine gusseiserne Muffe, deren Hälften mittels starker Schrauben an das Kabel und an einander angedrückt werden.

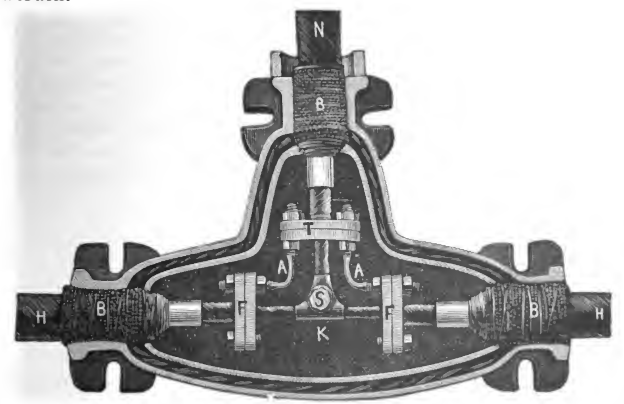


Fig. 100.

Zur Verbindung und Abzweigung unterirdisch verlegter Kabel bedient man sich indes, ebenso wie bei Telephonkabeln, eigener Verbindungs- bezw. Abzweigekästen. Fig. 98 zeigt einen von der Firma Siemens & Halske herrührenden Abzweigekasten für drei Kabel. Derselbe ist in seinem Inneren mit isolierten Metallschienen

versehen, welche die Verbindung je zweier Kabel mittels eingeschalteter Bleisicherungen herstellen. Die abzweigenden Kabel werden durch ebensolche rechtwinkelig zu den ersteren angeordnete Metallschienen mit den Hauptkabeln in leitende Verbindung gebracht.

Für konzentrische Kabel bedürfen die Verbindungskästen einer besonderen Einrichtung. Fig. 99 zeigt einen einfachen Verbindungskasten, Fig. 100 einen Abzweigekasten für konzentrische Kabel, wie solche von der Firma Siemens & Halske verwendet werden. Die inneren Leiter werden durch übergesteckte Hülsen *k* mit einander verlötet und verschraubt; die Drähte der äusseren Leiter werden rechtwinkelig nach aussen gebogen und zwischen zwei massiven Metallringen *F* mit Schrauben festgepresst und die Metallringe je zweier zusammengehörigen Leitungen durch Metallbolzen *B* (Fig. 99) und *A* (Fig. 100) mit einander leitend verbunden. Der Verbindungskasten wird sodann durch einen aufzuschraubenden Deckel wasserdicht verschlossen und mit Isoliermasse ausgegossen.

Ähnliche Verbindungskästen werden in etwas geänderter Form von der Ungarischen Elektrizitäts-Aktiengesellschaft in Budapest hergestellt. In Fig. 101 ist Schnitt und Draufsicht eines Verbindungskastens dieser Firma für konzentrische Kabel dargestellt. Die Verbindung der Leitungen unter einander geschieht im wesentlichen nach demselben Prinzipe; jedoch ist dieselbe mit Bleisicherungen versehen, welche in der Weise angebracht sind, dass cylindrische, mit Kontaktkappen versehene Ebonithülsen *o*, die den Bleidraht enthalten, mittels isolierender Holzgriffe in die Kontaktklemmen eingeschoben werden. Wie aus der Zeichnung zu entnehmen ist, kann die Auswechselung der Bleisicherungen in dem mit Isoliermasse ausgegossenen und im Strassenpflaster eingebauten Kasten mittels der erwähnten Holzgriffe mit Leichtigkeit ausgeführt werden.

Die Verlegung der Kabel in Röhren.

Es wurde schon hervorgehoben, dass die Methode der Verlegung der Kabel in Gräben, namentlich in grösseren Städten mit dichtem Strassenverkehre, viele Unzukömmlichkeiten mit sich bringt. Bei den häufig nötigen Herstellungen und Ausbesserungen von Gas- und Wasserleitungen werden die Strassen aufgewühlt und die in mässiger Tiefe unter dem Pflaster verlegten Kabel nur zu häufig beschädigt. Bei Telegraphen- oder Telephonkabeln kommt noch hinzu, dass dieselben wegen ihrer zahlreichen schwachen Adern öfteren Untersuchungen und Reparaturen unterzogen werden müssen, und sowohl in diesen Fällen als in jedem Falle, sobald ein neues Kabel dem bestehenden Netze hinzugefügt werden soll, muss die Strassendecklage aufgerissen werden, was den

Verkehr in belebten Verkehrsadern oft derart behindert, dass daselbst nur des Nachts gearbeitet werden kann. Bei unterirdisch in Gräben

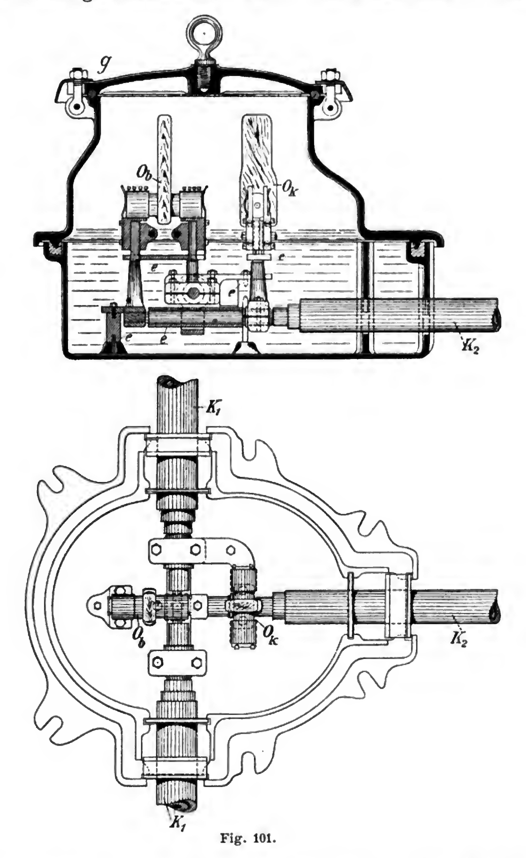


Fig. 101.

verlegten Telegraphen- und Telephonkabeln wurden diese Übelstände aus den eben erwähnten Gründen stets am häufigsten empfunden, und deshalb entschloss man sich, sowohl bei wichtigen unterirdischen

Telegraphenlinien als auch bei den weit verzweigten urbanen Telephonlinien zu dem Auskunftsmittel zu greifen, solche Linien führende Kabel in Röhren einzuziehen. Ein lehrreiches Beispiel dieser Kabel-Verlegungsmethode giebt das in Berlin im Jahre 1880 grösstenteils ausgebaute Kabelröhrennetz, welches im Folgenden beschrieben werden soll:

Die in Berlin gelegten gusseisernen Muffenrohre hatten eine Länge von 3 *m* und eine innere Lichte von 10—17,5 *cm*, je nachdem ein-,

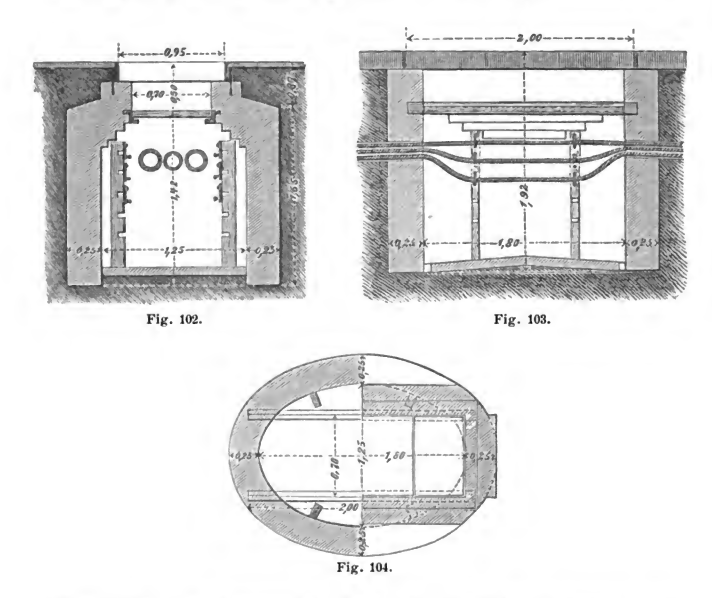


Fig. 102. Fig. 103.

Fig. 104.

drei-, fünf- oder siebenadrige Kabel für dieselben in Aussicht genommen waren; sie wurden ca. 1,25 *m* unter dem Strassenniveau verlegt und in gewöhnlicher Weise mit geteertem Hanf und Blei mit einander verbunden. Die einzelnen Rohrstränge wurden auf eine Länge von etwa 200 *m* und stets in möglichst gerader Richtung ausgelegt und während ihrer Legung ein 5 *mm* starker Eisendraht in dieselben eingezogen. Die einzelnen Rohrstränge münden in sogenannte Untersuchungsbrunnen, welche an passend gelegenen Strassenkreuzungen und Winkelpunkten angelegt und so geräumig

eingerichtet wurden, dass sie auch nach Einführung einer beträchtlichen Anzahl Kabel noch Raum für zwei Arbeiter zu den daselbst notwendigen Arbeiten boten. Fig. 102, 103 und 104 stellen Querschnitt, Längsschnitt und Draufsicht einer Type solcher Untersuchungsbrunnen dar, welche bei der Berliner Röhrenanlage unter dem Trottoir ausgeführt wurde und deren Abmessungen und Einrichtungen ohne weiteres aus der Zeichnung entnommen werden können. Das Mauerwerk, welches eine elliptische Grundform besitzt, tritt in einer Höhe von etwa 1,20 *m* an den Seiten allmählich zu einer Längsöffnung

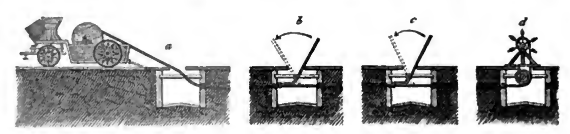


Fig. 105.

zusammen, welche durch 5 *cm* starke eichene Bohlen verschlossen werden kann und als Einsteigeschacht bis zum Strassenniveau emporführt. Der Einsteigeschacht wurde mit drei 12 *cm* starken behauenen Granitplatten eingedeckt. Das Innere dieser Brunnen wurde mit je vier Stück starken eichenen Pfosten ausgestattet, welche an

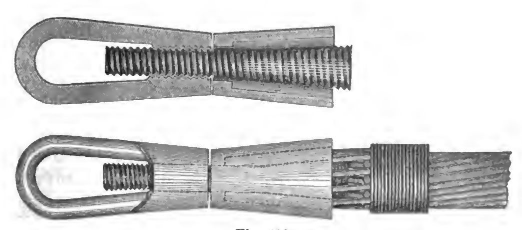


Fig. 106.

den Seitenwänden mittels Bankeisen aufrechtstehend befestigt wurden. In diese Pfosten hatte man in Abständen von 10 *cm* halbrunde Einkerbungen ausgeschnitten, in welche die Kabel eingelegt und durch eiserne Vorreiber festgehalten wurden.

Das Einziehen der hier verwendeten Guttaperchakabel geschah auf einfache Weise. Sollte beispielsweise ein Kabelstück in der Länge des Abstandes zweier Brunnen, also in der Länge von etwa 200 *m*, eingezogen werden, so verfuhr man auf folgende Art: Über dem Brunnen *b* in Fig. 105 wurde vorerst eine Bockwinde mit sechs

Speichen auf jeder Seite aufgestellt. Auf diese Winde wurde ein etwa 300 *m* langes Stahldrahtzugseil aufgewunden, welches an jedem Ende mit einer starken Öse (Fig. 106) versehen war. Mittels dieser Öse wurde das Zugseil mit dem bereits in der Rohrleitung liegenden 5 *mm* starken Eisendraht fest verbunden und sodann über eine im Brunnen befestigte Leitrolle gelegt, welche den Zweck hatte, das Drahtseil ohne Reibung von der Winde in die Rohrleitung und umgekehrt zu befördern. Sodann wurde im Brunnen *a* (Fig. 105) der mit dem Zugseil verbundene Eisendraht herausgezogen und auf eine Trommel aufgewickelt. Sobald das Ende des Drahtseiles den Brunnen *a* erreicht hatte, wurde das auf einem Kabeltransportwagen bereitstehende Kabel an das Drahtseil befestigt und mit Hilfe der Winde von mehreren Arbeitern durch die Rohrleitung hindurchgezogen. Gleichzeitig wurde der Eisendraht wieder in die Rohrleitung zurückgezogen, um für das Einziehen weiterer Kabel wieder benutzt werden zu können.

War das Kabel länger als die Entfernung zweier Brunnen von einander, reichte dasselbe bis zum dritten oder vierten Brunnen, so wurde zunächst die Strecke *a b* in der angegebenen Weise eingezogen; man brachte sodann Winde und Leitrolle zum Brunnen *c* (Fig. 105), zog das Drahtseil von *c* nach *b* und befestigte das aus der Rohrleitung a b hervorstehende Kabel an das Drahtseil. Im Brunnen *b* wurde nun ein Hebel in Thätigkeit gesetzt, welcher die an der Winde bei *c* zu leistende Arbeit unterstützte. Dieser Zughebel war an seinem unteren Ende mit einer Zange ausgerüstet, deren Stahlbacken dem Querschnitte des Kabels angepasst wurden und bei der Vorwärtsbewegung des Hebels das durch den Brunnen hindurchgehende Kabel nach Art der Teufelsklaue packten und auf diese Weise die Arbeit bei der Winde unterstützten. War das Kabel noch bis zu einem vierten Brunnen zu ziehen, so entsprach die Stellung der Geräte der in Fig. 105 angedeuteten Anordnung. Die Guttaperchaadern zweier Kabelenden wurden in der bereits beschriebenen Weise gespleisst und dann die ganze Verbindungsstelle mit einer aufgelöteten Hülse von starkem Weissblech umgeben. [1])

In ganz ähnlicher Weise pflegt man auch gegenwärtig Kabelröhren-Anlagen einzurichten. Es wäre nur noch zu erwähnen, dass beim Einziehen der Kabel bezüglich des mit einzuziehenden Zugdrahtes, welcher für das Einziehen künftiger Kabel verwendet werden soll, sich zuweilen Schwierigkeiten ergeben. Das Kabel besitzt nämlich, je nachdem der Zug während des Einziehens auf dasselbe wirkt, die Neigung, sich um seine Achse zu drehen. Wird nun gleichzeitig

---

[1]) Näheres hierüber siehe Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin 1880, S. 377.

mit dem Kabel ein neuer Zugdraht in die Leitung hineingezogen, so kommt es vor, dass sich derselbe um das Kabel herumwickelt und daher später nicht mehr benutzt werden kann. Es ist deshalb ratsam, sich nach beendetem Einziehen des Kabels durch Hin- und Herziehen des Drahtes die Gewissheit zu verschaffen, dass derselbe lose in der Rohrleitung liegt. Ist dies nicht der Fall, so zieht man das Kabel um einige Meter weiter und kann dann die spiralförmigen Windungen des Drahtes, welche sich am Anfange des Kabels ansammeln, leicht wieder aufwickeln.

Diesem Übelstande kann auf eine andere Weise ebenfalls begegnet werden, indem man nämlich mit dem Drahtseil gleichzeitig einen neuen Zugdraht in die Leitung einzieht und jenen, welcher zur Beförderung des Drahtseiles gedient hat, von demselben abnimmt und zurücklässt.

II.

Die Verlegung submariner Kabel.

Die Überschreitung von Gewässern mit elektrischen Leitungen kann entweder durch die Luft oder unter dem Wasser vorgenommen werden. Das erstere ist jedoch nur bei Flüssen oder Seen von geringer Breite und bei grösseren Gewässern dann möglich, wenn hierzu eine etwa vorhandene Brücke benutzt werden kann, ohne dass man mit der Trasse der Leitung einen erheblichen Umweg zu machen braucht.

Ist jedoch ein solches Auskunftsmittel nicht vorhanden oder kann dasselbe aus verschiedenen Gründen zur Führung der Leitung nicht ausgenutzt werden, so würde die Überführung grösserer Gewässer mittels Luftleitungen sowohl durch die Spannweite der Drähte als auch durch die Anforderung, dass die Schiffe ungehindert unter der Leitung durchgehen können, eine sehr beträchtliche Höhe der Ufermasten bedingen, wodurch die Konstruktion sehr kostspielig und wenig dauerhaft wäre. In diesen Fällen und beim Durchqueren von Meeren müssen die elektrischen Leitungen in Form von Kabeln unter Wasser geführt werden.

Die Erfahrungen, welche man bei der Verlegung von Kabeln unter Wasser gemacht hatte, bildeten, wie bereits im historischen Überblick hervorgehoben wurde, die eigentliche Grundlage zur Entwickelung der modernen Kabeltechnik. Durch mühevolle, jahrelange Versuche, deren Misserfolge ungeheure Summen verschlungen hatten, ist man zur Erkenntnis der richtigen Konstruktion und der besten

Art der Verlegung submariner Kabel gelangt, und dieses Gebiet, welches die seemännischen Wissenschaften, den Bau geeigneter Fahrzeuge und Maschinen, die Vornahme verlässlicher Tiefseemessungen und viele andere technische Kenntnisse in sich einschliesst, hat sich in einer Weise erweitert, die es unmöglich macht, dasselbe in dem engen Rahmen dieses Buches eingehender zu behandeln. Es kann daher in kurzer Fassung nur alles das Berücksichtigung finden, was von allgemeinem Interesse sein dürfte, und in dieser Weise soll im Folgenden vorerst die Verlegung von Flusskabeln und sodann jene von Seekabeln besprochen werden.

Die Verlegung von Flusskabeln.

Ein Haupterfordernis bei der Verlegung von Kabeln in Flüssen bildet die vollkommen wasserdichte Isolierung der Kabeladern und ein ausgiebiger Schutz des Kabels gegen Beschädigungen. Wie diese notwendigen Eigenschaften solcher Kabel erreicht werden, ist bereits gelegentlich der Besprechung der Telegraphenkabel erörtert worden; jedoch gegen die Beschädigung des Kabels durch äussere Einflüsse wäre der Eisenpanzer allein für die Dauer kein genügender Schutz, denn er könnte den zahlreichen Angriffen der Schiffsanker, namentlich in verkehrsreichen Wasserstrassen, doch nur in beschränktem Masse Widerstand leisten, und das Kabel würde gewiss vor der Zeit betriebsunfähig werden. Aus diesem Grunde ist man genötigt, das Kabel durch sichere Einbettung wenigstens zum grossen Teile aus dem Bereiche der gefährlichen Anker zu bringen. Dies erfordert aber umständliche Vorarbeiten, deren Dauer den örtlichen Verhältnissen entspricht und selten im vorhinein bestimmt werden kann. Soll daher ein Flusskabel mit einem gleichzeitig zu legenden Landkabel verbunden werden, so ist es ratsam, mit der Landkabellegung so lange zu warten, bis der Fortschritt der Arbeiten zur Einbettung des Flusskabels die Verbindung der beiden Kabel ohne Verzögerung gestattet. Die Bestimmung der Trasse des Kabels hängt ebenfalls von den örtlichen Verhältnissen ab, und es lassen sich auch in dieser Beziehung keine allgemeinen Regeln aufstellen. Hat man sich für eine bestimmte Kabeltrasse entschlossen, so muss vor allem im Flussbette eine Kabelrinne hergestellt werden, was zumeist langwierige Baggerarbeiten bedingt. Diese Arbeiten sind in Flüssen mit starker Strömung auch nicht immer ganz durchführbar, und dann muss man sich damit behelfen, an den betreffenden Stellen das Flussbett thunlichst zu vertiefen und das Kabel unmittelbar nach dem Einlegen in die Vertiefung durch aufgeschüttete Steinmassen zu belasten, um ihm so eine möglichst gesicherte Lage zu gewähren.

Diese Kabelrinne muss bis an jene Punkte geführt werden, wo das Flusskabel mit dem Landkabel verbunden wird, und sie muss, je mehr sie sich den Ufern nähert und das Kabel in erhöhtem Masse des Schutzes bedarf, entsprechend tiefer ausgehoben werden. Die am schwierigsten zu bewältigenden Stellen für die Flusskabellegung sind immer diejenigen, an welchen das Kabel das Flussbett verlässt. Die tiefen Einschachtungen, welche oft am Ufer notwendig werden, machen bei der häufig durch zwischenliegende Hindernisse und den Schiffahrtsverkehr erschwerten Arbeit zuweilen einen bedeutenden Aufwand von Zeit und Kosten erforderlich, und man kam, zur Vermeidung sämtlicher bei diesen Arbeiten eintretenden Übelstände, bei welchen häufig auch die Schwierigkeiten der Wasserbewältigung eine bedeutende Rolle spielen, auf den Gedanken, ein anderes Verfahren zur Anwendung zu bringen. An solchen Stellen, wo es die örtlichen Verhältnisse gestatten, kann man nämlich für das Kabel einen Weg schaffen, indem man von einem Punkte des Ufers aus nach der Tiefe des Flussbettes hin ein Rohr schräg einbohrt, durch welches das Kabel hindurchgezogen wird.

Ist die Kabelrinne fertig gestellt, so werden zur Einhaltung der Richtung des Grabens im Flussbette auf beiden Ufern Signalstangen aufgestellt, nach welchen das Einlegen des Kabels erfolgt.

Die Verlegung des Kabels wird, je nachdem es die begleitenden Umstände erfordern, auf verschiedene Arten vorgenommen.

Beim Durchschreiten von Flüssen von geringer Breite und geringer Stromgeschwindigkeit lässt man das Kabel von einer am Ufer aufgestellten drehbaren Trommel ablaufen und an einer Leine durch Arbeiter ans andere Ufer ziehen, welch letztere in Fahrzeugen postiert werden, die in der Richtung der Kabeltrasse auf entsprechende Entfernung von einander verankert liegen. Das Kabel wird sodann von den Arbeitern auf den Schiffen mittels Taue erfasst und langsam von einer Seite her in Form einer Welle ins Flussbett versenkt.

Bei ganz kurzen Uferentfernungen kann dieses Verfahren selbstverständlich noch um vieles vereinfacht werden.

Hat man es hingegen mit einem breiten Strome zu thun, durch welchen ein Kabel zu legen ist, so reicht in vielen Fällen die eben beschriebene Methode nicht mehr aus; es muss dann das Kabel auf ein geeignetes Fahrzeug verladen und von diesem aus ins Wasser versenkt werden. Zu diesem Zwecke pflegt man auch 2 Kähne durch übergelegte Balken mit einander fest zu verbinden und diese Brücke, in deren Mitte die Kabeltrommel drehbar angebracht wird, mit Brettern einzudecken. Zur Fortbewegung dieses Fahrzeuges bedient man sich am besten eines Dampfers. Nachdem ein genügend langes Kabelstück gelandet worden ist, dreht sich die

Trommel beim Fortbewegen des Fahrzeuges ohne jede Nachhilfe, doch muss ihre Umdrehungsgeschwindigkeit der Geschwindigkeit des Fahrzeuges stets angemessen erhalten bleiben. Wenn man mit dem Fahrzeuge in grössere Tiefen gelangt ist, so wird sich das Kabel infolge des mit zunehmender Tiefe immer mehr wachsenden Zuges des ins Wasser hängenden Teiles immer schneller abzurollen trachten. Wenn nun die Geschwindigkeit des ablaufenden Kabels grösser ist als die Schiffsgeschwindigkeit, so wird das Kabel am Grunde entweder eine Schlangenlinie oder Schlingen bilden, was, abgesehen von sonstigen Gefahren, einen unnötigen Mehraufwand von Kabel zur Folge hätte. Aus diesem Grunde ist die Ablaufgeschwindigkeit des Kabels durch eine entsprechende Bremsung der Trommel mit der Schiffsgeschwindigkeit in Einklang zu bringen. Hierbei müssen aber auch allzu grosse Spannungen vermieden werden, weil dieselben, namentlich wenn sie ruckweise auftreten, leicht zu einem Bruche, mindestens aber zu einer Beschädigung des Kabels führen können. Bei der Bestimmung der Länge des Kabels ist es ratsam, einen unvermeidlichen Mehraufwand von 5 %, welcher mit Rücksicht auf die Unebenheiten des Bodens gerechtfertigt erscheint, in Rechnung zu ziehen.

Unter Umständen ist man genötigt, Flusskabel aus mehreren Stücken zusammenzusetzen. Die Verbindungen werden in ähnlicher Weise hergestellt, wie es auf Seite 114 beschrieben wurde. Da jedoch diese Kabel auch auf absolute Festigkeit sehr in Anspruch genommen werden, so muss die Verbindung der Armaturdrähte in äusserst solider Weise vorgenommen werden.

Die Verbindung der Kabelenden geschieht auf einem verankerten Boote. Um die Kabel unverrückbar festzuhalten, so dass während der Arbeit die Lötstellen nicht etwa auseinander gerissen werden können, wendet man eine besondere Spannvorrichtung an, mittels welcher die Kabel durch starke Klemmbacken befestigt werden. Sind die Lötstellen und die Wiederherstellung der sonstigen Isolierung vollendet, so legt man die eisernen Armaturdrähte beider Enden wechselseitig in einander und biegt deren Enden rechtwinkelig nach aussen um. Zwischen den Aufbiegungen wird nun die ganze Verbindungsstelle mit etwa 4 *mm* starkem verzinkten Eisendraht dicht umwickelt, so dass die aufgebogenen Enden der Armaturdrähte an dieser Wickelung einen festen Halt haben. Die Armaturdrähte werden sodann ganz zurückgebogen, mit einem Hammer festgeklopft und gleichfalls mit Draht bewickelt; die ganze Verbindungsstelle wird sodann mit Hanf umhüllt und mit Asphalt imprägniert.

Nach Vollendung der Verbindungsstelle wird dieselbe ins Wasser versenkt, die Verlegung fortgesetzt und schliesslich das zweite Kabelende gelandet.

Die beiden in das Uferland hineinreichenden Enden des Flusskabels werden sodann mit sogenannten »Kabelhaltern« versehen, welche den Zweck haben, die Kabelenden festzulegen, um einem im Strombette auf das Kabel ausgeübten Zuge einen kräftigen Widerstand entgegenzusetzen. Zu diesem Behufe wird das Kabel zwischen starken, mit passenden Quernuten versehenen Balken mittels kräftiger Schraubenbolzen festgeklemmt, und vor diesen Haltern werden nach der dem Flussbette zugekehrten Seite starke Pfosten eingerammt, die jenen ein sicheres, der Stärke des zu erwartenden Zuges entsprechendes Widerlager gewähren.

Im Fahrwasser von Flüssen, in welchem das Kabel ganz besonders oft der Gefahr der Verletzung ausgesetzt ist, pflegt man das Kabel mit kurzen gusseisernen Rohren, sogenannten Schutzmuffen, zu umgeben.

Diese Schutzmuffen bestehen aus je zwei kräftigen Halbrohren, welche das Kabel in sich aufnehmen und durch Schraubenbolzen zusammengehalten werden. Die Muffen werden vor der Verlegung nach einander auf das Flusskabel aufgeschraubt, und zu diesem Zwecke sind die Enden der Muffen derart erweitert, dass das Ende der einen Muffe stets in den Anfang der benachbarten Muffe hineinpasst, so dass sämtliche Muffen ein gegliedertes Rohr bilden, welches dem eingeschlossenen Kabel den gegen die Schiffsanker erforderlichen Schutz in hinreichendem Masse gewährt.

Die Verlegung von Seekabeln.

Die schwierigste Art der Kabellegungen ist im allgemeinen die Verlegung von Seekabeln, im besonderen aber jene von Tiefseekabeln, bei welch letzterer an die Qualität des Kabels und namentlich an seine absolute Festigkeit die grössten Anforderungen gestellt werden.

Anknüpfend an die Besprechung der Konstruktion der Seekabel,[1]) möge hier noch folgender kurzen Betrachtung Raum gegeben werden: Wird ein aus Kupfer, Guttapercha, Hanf und Eisen bestehendes Kabel in der Richtung seiner Länge einem bedeutenden Zuge ausgesetzt, so dehnen sich alle seine Bestandteile, deren jeder eine andere Elastizität besitzt, aus. Wird die Elastizitätsgrenze eines dieser Bestandteile überschritten, so muss er offenbar reissen. Von der Guttapercha ist dies allerdings bei einem während seiner Verlegung vom Schiffe bis auf den Meeresboden herabhängenden Kabel nicht zu fürchten, da sie unter allen übrigen Kabelbestandteilen die

[1]) Siehe Seite 80.

grösste Elastizität besitzt. Sie wird sich wohl ausdehnen; sobald aber der Zug auf das Kabel aufgehört hat, wird sie sich wieder zusammenziehen und ihre ursprüngliche Form annehmen. Wird hierbei jedoch die Elastizitätsgrenze des Kupfers überschritten, so zieht sich dieses nicht mehr auf seine frühere Länge zusammen, sondern behält seine Verlängerung bei. Die Folge davon ist, dass das Kupfer durch die sich wieder zusammenziehende Guttapercha ausgebogen wird und letztere sogar zu durchbrechen im Stande ist. Ebenso wenig ist die Hanfumspinnung geeignet, die Kupferader bei einem bedeutenden Zuge gegen einen Bruch zu schützen, und nur der Eisenpanzer kann einer gefährlichen Dehnung der in der Guttapercha eingeschlossenen Kupferader wirksam entgegentreten.

Das Gewicht des Kabels darf aber durch den massiven Eisenpanzer nicht zu gross werden, weil dadurch der Zug des ins Wasser hängenden Kabelstückes nur noch vermehrt wird, und es ist daher bei der Konstruktion von Tiefseekabeln eine Hauptaufgabe der Techniker, das Verhältnis der Bruchfestigkeit zum Gewichte des Kabels richtig zu bestimmen.

Wäre man im Stande, ein Kabel von noch so grosser Länge in horizontaler Lage ins Meer zu versenken, so würde es, ohne in der Richtung seiner Länge einen Zug zu erfahren, in allen seinen Punkten mit gleicher Geschwindigkeit zum Meeresboden hinabsinken; ein von einem Schiffe vertikal herabhängendes Kabel muss hingegen einen Zug erleiden, welcher seinem ganzen Gewichte im Wasser entspricht. Daraus folgt, dass die Spannung des Kabels, welches von einem mit einer gewissen Geschwindigkeit sich fortbewegenden Schiffe abläuft und daher im Wasser mit der Horizontalen einen Winkel einschliesst, von der Grösse dieses Winkels und von der Länge der Vertikalen vom Schiffe bis zum Meeresboden, d. h. von der Tiefe des Meeres, abhängt. Je grösser also die Meerestiefe und je mehr sich die Neigung des ablaufenden Kabels der Vertikalen nähert, desto grösser ist die Spannung, welche das Kabel zu erleiden hat.

Sowohl die veränderliche Meerestiefe als auch die gegebenen Grenzen der Regulierbarkeit der Schiffsgeschwindigkeit erheischen, mit Rücksicht auf das eben Gesagte, auf dem Kabelschiffe eine Vorrichtung, welche es nicht nur ermöglicht, die Ablaufgeschwindigkeit des Kabels zu regulieren, sondern die mit der Legung betrauten Personen am Schiffe auch in den Stand setzt, die Spannung des Kabels jederzeit zu kontrollieren. Ein vom Schiffe frei abrollendes Kabel würde seine Ablaufgeschwindigkeit beschleunigen, und es müsste, da sich die Schiffsgeschwindigkeit nicht in demselben Masse steigern lässt, überdies nach kurzer Zeit viel mehr Kabel ablaufen,

als zur geradlinigen Belegung der durchfahrenen Strecke nötig wäre. Zur Regulierung der Ablaufgeschwindigkeit des Kabels bedarf man vor allem einer Bremsvorrichtung, die das abrollende Kabel stets in einer entsprechenden Spannung erhält. Letztere darf jedoch nicht grösser werden als jene Spannung, die das Kabel nach Massgabe seiner absoluten Festigkeit höchstens zu ertragen vermag, und muss daher mittels eines Dynamometers unausgesetzt kontrolliert werden.

Berücksichtigt man alle auf das Einsinken eines Kabels im Wasser bezüglichen Umstände unter der Voraussetzung, dass sich das Schiff, von welchem das Kabel abrollt, mit gleichmässiger Geschwindigkeit fortbewegt und das Wasser dem Einsinken einen erheblichen Widerstand entgegensetzt, so ergiebt sich, dass, wenn die Bremsvorrichtung das Kabel mit einer ununterbrochen wirkenden Kraft zurückhält, welche dem Gewichte des vertikal im Wasser hängenden Kabels gleich ist, das Kabel im Wasser eine gerade, der Schiffsgeschwindigkeit entsprechend gegen die Vertikale geneigte Linie bildet. Die Ablaufgeschwindigkeit ist dann gleich der Schiffsgeschwindigkeit, und das Kabel legt sich auf den Meeresboden ohne Spannung nieder. Wenn hingegen durch eine Verminderung der bremsenden Kraft die Ablaufgeschwindigkeit des Kabels zunimmt, oder wenn die Schiffsgeschwindigkeit kleiner wird, so beschreibt das im Wasser hängende Kabel eine nach unten convex gestaltete krumme Linie, was einen mehr oder weniger grösseren Bedarf an Kabel zur Folge hat, da sich dasselbe in einer Schlangenlinie oder in Ringen am Meeresboden niederlegt; es wird in diesem Falle also »mit Verlust ausgelegt«, weil die Ablaufgeschwindigkeit des Kabels grösser ist als die Schiffsgeschwindigkeit. Der dritte mögliche Fall ist der, dass infolge zunehmender Bremskraft das Ablaufen des Kabels langsamer von statten geht, oder dass die Schiffsgeschwindigkeit bei gleichbleibender Bremskraft grösser wird. Dann bildet das im Wasser hängende Kabel eine nach unten konkav geformte Kurve; es wird sich dasselbe wohl geradlinig am Meeresboden niederlegen, daselbst aber immer eine grössere oder geringere Spannung beibehalten.

Es ist wohl klar, dass bei der Seekabellegung die beiden letztangeführten Fälle vermieden werden müssen und dass man die Auslegung derart vorzunehmen hat, dass sich die Richtung des am Meeresboden ruhenden Kabels möglichst einer geraden Linie nähere, ohne dass es in seinem Inneren eine bleibende Spannung erhält. Dies ist aber nur zu erreichen, wenn die Ablaufgeschwindigkeit des Kabels der Schiffsgeschwindigkeit immer annähernd gleich bleibt, und aus diesem Grunde ist es unerlässlich, die Spannung des Kabels

während der Verlegung stets zu kennen und das Verhältnis zwischen der Geschwindigkeit des Kabels und jener des Schiffes durch entsprechende Handhabung der Bremse unausgesetzt zu berichtigen.



Fig. 107.

Bei wechselnden Tiefen muss die Bremskraft vermehrt oder vermindert werden; es ist daher auch notwendig, die in der Kabeltrasse vorhandenen Meerestiefen zu kennen. Nimmt die Meerestiefe

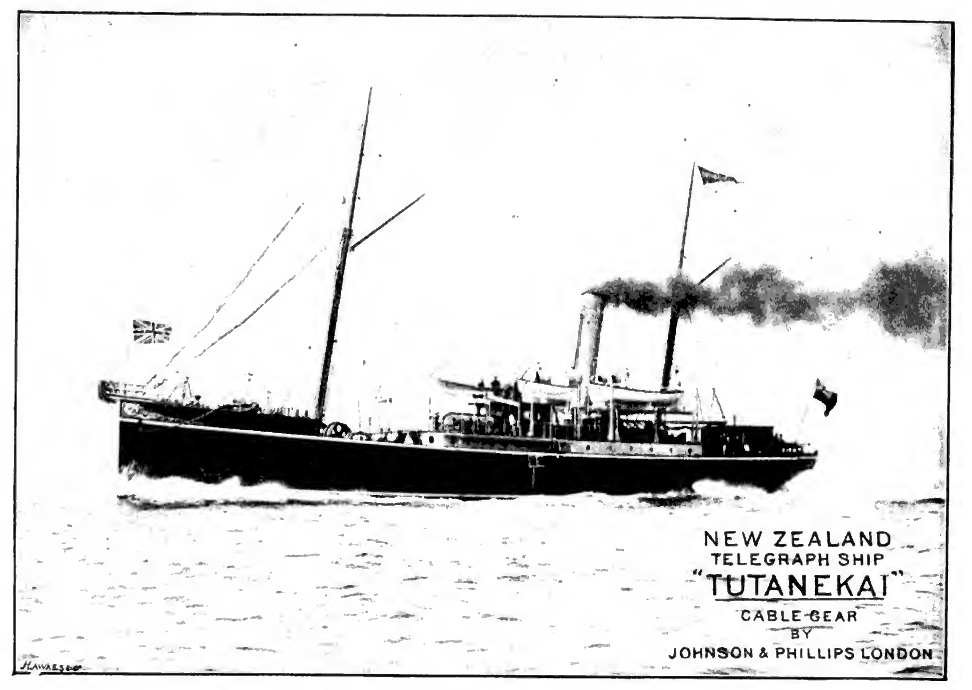

NEW ZEALAND
TELEGRAPH SHIP
"TUTANEKAI"
CABLE GEAR
BY
JOHNSON & PHILLIPS LONDON

Fig. 108.

und damit das Gewicht des im Wasser hängenden Kabels zu, so muss die Bremse angezogen werden, um der Beschleunigung im Ablaufen entgegenzuwirken; nimmt hingegen die Tiefe ab, muss auch das Ablaufen des Kabels durch Lüften der Bremse gefördert werden. Wenn die Bremse richtig gehandhabt wird, muss der Winkel, den das Kabel mit der Horizontalen einschliesst, bei gleichbleibender Schiffsgeschwindigkeit stets derselbe sein, und der im Wasser hängende Teil des Kabels muss eine gerade Linie bilden, welche sich nach Massgabe der fortschreitenden Auslegung stets zu sich selbst parallel verschiebt.[1])

Aus dem bereits Gesagten geht hervor, dass die Fahrzeuge, welche für die Seekabellegung benutzt werden sollen, einer zweckentsprechenden Einrichtung bedürfen. Während man sich bei den ersten Seekabellegungen damit begnügte, schon vorhandene Schiffe für die Zwecke der Seekabellegung zu adaptieren, kam man später zur Einsicht, eigene, speziell für diesen Zweck dimensionierte und eingerichtete Schiffe zu bauen. In Fig. 107 ist das der Japanischen Regierung gehörige Kabelschiff »Okinawa Maru«, welches bereits auf Seite 12 erwähnt erscheint, abgebildet. Fig. 108 zeigt eins der neuesten Kabelschiffe, namens »Tutanekai«. Dasselbe wurde im Auftrage der Regierung von Neu-Seeland von der Firma Dunlop & Co. in Port Glasgow gebaut und dient hauptsächlich für die an den Staatskabeln Neu-Seelands vorzunehmenden Reparaturen.[2])

Schon der Umstand allein, dass im Schiffsraume bei jeder Kabellegung ganz beträchtliche Mengen Kabel verstaut und zwar derart untergebracht werden müssen, dass sie sich während der Legung leicht und ununterbrochen abrollen lassen, bedingt eine eigenartige Schiffskonstruktion, da hiervon der Raum für die Aufstellung der Schiffsmaschinen und die Lage der Propeller abhängig ist. Weiter kommen noch alle für die Verlegung und Einholung von Kabeln erforderlichen Maschinen, Vorrichtungen und sonstigen Behelfe hinzu, für welche alle teils auf Deck, teils unter Deck Raum geschaffen werden muss, und schliesslich muss ein Kabelschiff derart konstruiert sein, dass an seine Manövrierfähigkeit bei jedem Wetter die grössten Anforderungen gestellt werden können, da die letzte Eigenschaft des Fahrzeuges für das Gelingen der Expeditionen in vielen Fällen von grösster Bedeutung ist.

---

[1]) Vergl. Schellen, das atlantische Kabel, Braunschweig 1867. Näheres über die Theorie der Kabellegung siehe Siemens, Lebenserinnerungen, Berlin 1893, und Jüllig, Kabeltelegraphie, Wien 1884.

[2]) Siehe »Electrical Review« vom 17. April, 8. Mai und 21. August 1896.

Eine erhöhte Manövrierfähigkeit hatte man beispielsweise beim Kabelsteamer »Faraday« dadurch erreicht, dass man statt einer einzigen Schiffsschraube zwei Schrauben neben einander anordnete, die durch die Maschine, von einander ganz unabhängig, bethätigt werden können und ein rasches Wenden des Schiffes ermöglichen. Die Kabelbehälter (Tender, Tank), deren jedes Kabelschiff drei bis vier enthält, sind im Schiffskörper eingebaute, cylindrische, eiserne Reservoire von 4—5 *m* Höhe und 8—10 *m* Durchmesser und besitzen an ihrer Decke eine Öffnung, durch welche die Kabel ein- und auslaufen können. In der Mitte jedes Kabelbehälters steht ein eiserner abgestutzter Kegel, dessen Höhe etwa $^2/_3$ der Höhe des Behälters beträgt, dessen Basis etwa 2 *m* Durchmesser hat und welcher mit Wasser gefüllt werden kann. Dieser Konus, um welchen die Windungen des Kabels gelegt werden, hat zweierlei Zwecke zu erfüllen. Erstens hat er nämlich dem auslaufenden Kabel, wie noch weiter unten näher besprochen wird, als Führung zu dienen, und zweitens kann durch Anfüllen des Konus mit Wasser der Gewichtsverlust des ausgelaufenen Kabels wieder ersetzt und dadurch die gleichmässige Belastung des Schiffes und die erforderliche Eintauchungstiefe wieder hergestellt werden.

Das Einstauen der Kabel muss im Interesse seines ungestörten Ablaufens mit der grössten Sorgfalt geschehen; es dürfen sich während des raschen Auslaufens keine Schleifen bilden, welche leicht zu einem Bruche des Kabels führen können, und aus diesem Grunde müssen sich die einzelnen Windungen rasch und leicht auflösen. Ausserdem wird dem Kabel beim Auslaufen, einerseits durch den bereits besprochenen Konus, anderseits durch ein oder zwei im Reservoir befindliche konzentrische Ringe, welche sich der jeweiligen Höhenlage der eben im Abrollen begriffenen Schicht entsprechend höher oder tiefer verstellen lassen, die erforderliche Führung gegeben. Beim Einstauen eines Kabels wird zunächst das Ende desselben bis auf den Boden des Reservoirs herabgelassen, sodann längs der Seitenwand gehoben und in einer Länge von 50—60 *m* an der Decke befestigt, damit das Ende der Ader zu den während der Legung erforderlichen elektrischen Messungen zur Verfügung steht. Hierauf wird die erste Schicht am Boden des Reservoires von der Wand gegen die Mitte zu eingelagert, wobei die einzelnen Windungen fest an einander gepresst werden. Sobald die letzte Windung der ersten Schicht am Konus anliegt, führt man das Kabel in tangentialer Richtung an die Reservoirwand zurück und lagert die folgenden Schichten in derselben Weise ein. Um ein Aneinanderkleben der einzelnen Windungen und Schichten zu verhindern, wird jede fertiggelegte Schicht reichlich mit Kalkmilch übergossen.

Je nach der Anzahl der Kabelbehälter und der Menge der einzustauenden Kabel wird jeder Behälter für einen bestimmten Zweck verwendet. Während in einem Reservoire das Küstenkabel eingestaut wird, nimmt ein anderer oder mehrere andere das Tiefseekabel auf. Bei grösseren Kabelschiffen sind auch zur Unterbringung der Taue für die Kabel-Fischanker und für etwa einzuholende Kabelstücke eigene Behälter vorhanden. Wird ein und derselbe Behälter zur Aufnahme mehrerer Kabeltypen bestimmt, so werden dieselben in umgekehrter Reihenfolge ihrer Verlegung in den Behälter eingelagert.

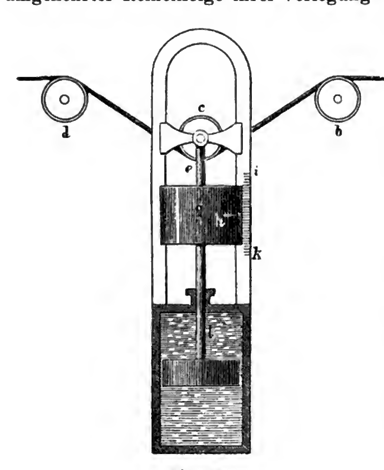


Fig. 109.

Das nächst wichtige Einrichtungsstück eines Kabelschiffes bildet die Auslege- bezw. Einholmaschine. Dieselbe besteht im wesentlichsten aus dem Dynamometer und der Kabelbremse.

Aus den bereits hinreichend hervorgehobenen Gründen ist es während der Kabellegung notwendig, die Spannung des Kabels unausgesetzt beobachten und darnach die Kabelbremse entsprechend handhaben zu können. Zur Konstatierung der Spannung des Kabels dient das Dynamometer. Die Einrichtung des Dynamometers beruht auf dem Prinzipe des Seilpolygones und ist in Fig. 109 schematisch dargestellt. Das Kabel läuft über drei Rollen *b*, *c* und *d*, von denen *b* und *d* fix, deren mittlere *c* jedoch in einer entsprechenden Führung auf- und abwärts beweglich ist. Die Achse der mittleren Rolle trägt ein Gewicht *g*, an welchem ein Kolben *l* befestigt ist, der sich in einem mit Öl oder Seifenwasser gefüllten Cylinder bewegt. Der Durchmesser des Kolbens ist etwas kleiner als jener des Cylinders, so dass er sich trotz der Füllung des letzteren nach Überwindung der Reibungswiderstände der Flüssigkeit in diesem doch langsam auf- und abwärts bewegen kann. Bezeichnet man den Zug, welchen das Gewicht *g* nach abwärts ausübt, mit *F*, die Spannung im Kabel mit *S* und die Winkel, welche die Kabelstücke zwischen den Rollen

b c und *c d* mit der Achse *c e* des Kolbens einschliessen, mit α und β, so befindet sich das System im Gleichgewichte, wenn

$$F = S \cos \alpha + S \cos \beta.$$

Wächst die Spannung im Kabel, so wachsen auch die Winkel α und β und das Gewicht *g* wird gehoben. Nimmt hingegen die Spannung des Kabels ab, so werden auch die Winkel α und β kleiner und das Gewicht *g* bewegt sich nach abwärts. Ein am Dynamometer angebrachter Zeiger *h*, welcher auf einer Skala *i k* spielt, gestattet es, die Spannung des Kabels jederzeit direkt abzulesen. Fig. 110 zeigt die moderne, auf diesem Prinzipe beruhende Ausführung eines Dynamometers. Über einem gusseisernen Sockel, welcher mittels sechs Schrauben am Boden befestigt werden kann, erhebt sich der Cylinder mit dem darin beweglichen Kolben. Die vierkantige Kolbenstange, welche aus der oberen Stirnfläche des Cylinders hervorragt, trägt ein massives Joch, mit welchem zwei beiderseits des Cylinders angeordnete Führungsstangen verschraubt sind, an deren unteren Enden ein auf den Cylinder aufgeschobenes schweres Gewicht befestigt ist. Dieses Gewicht trägt die Welle der Dynamometerrolle und ist längs der Mantelfläche des Cylinders nach auf- und abwärts frei beweglich. Wird nun durch die zunehmende Spannung des Kabels die Dynamometerrolle und der Kolben gehoben, so gleitet das Gewicht längs der Cylinderfläche nach aufwärts und sinkt bei abnehmender Spannung vermöge seiner Schwere wieder herab. Eine längs des Cylinders angebrachte Skala, auf welcher ein am Gewichte festgeschraubter Zeiger spielt, gestattet die direkte Ablesung der jeweiligen Kabelspannung.



Fig. 110.

Der zweite Teil der Auslege- und Einholmaschine, welchem, wie schon der Name sagt, zwei verschiedene Verrichtungen zugedacht

sind, wird aus diesem Grunde heute gewöhnlich als Doppelmaschine gebaut und hat folgenden Zwecken zu dienen: Beim Auslegen des Kabels funktioniert die Maschine lediglich als Bremse, welche nach den vom Dynamometer angezeigten Spannungen angezogen oder gelüftet werden muss. Beim Einholen eines Kabels hingegen tritt die Bremse ausser Wirksamkeit, und die Maschine dient als Winde, welche mittels Dampfes betrieben wird, um das Kabel vom Meeresgrunde an Bord des Schiffes emporzuwinden. Nachdem nun diese Winde nicht nur allein für Kabel, sondern auch für die zum Auffischen eines etwa gerissenen oder gekappten Kabels nötigen Anker dienen soll und nachdem es vorkommen kann, dass die Verrichtungen des Auslegens und des Einholens gleichzeitig vorgenommen werden müssen, wird die Maschine aus zwei symmetrischen Teilen zusammengesetzt, die vollkommen unabhängig von einander in Betrieb gesetzt werden können. Fig. 111 zeigt eine solche Auslege- und Einholmaschine, wie sie gegenwärtig auf den meisten Kabelschiffen mit geringen Abweichungen besteht.

Zwischen zwei mächtigen Stahlrahmen ist das Räderwerk der Doppelmaschine eingebaut, mittels dessen die Maschine, sobald sie als Winde gebraucht werden soll, angetrieben wird. Zu beiden Seiten des Gestelles befinden sich die zwei eisernen Haupttrommeln, deren jede einen Durchmesser von etwa 7 engl. Fuss hat und welche von innen angetrieben werden können. An der dem Gestelle zugekehrten Seite ist an jede Haupttrommel eine Bremsscheibe angegossen, so dass Haupttrommel, Bremstrommel und Antriebrad bei dieser Anordnung mit einander vereint sind, wodurch die ganze Maschine eine äusserst kompendiöse Form erhielt. Um die Bremsscheibe ist ein Stahlband herumgelegt, an dessen innerer Seite in seiner ganzen Länge Bremsklötze aus Ulmenholz aufgeschraubt sind, welche am Umfange der Bremsscheibe schleifen. An die Enden jedes der beiden Bremsbänder sind zwei Stahlgussstücke befestigt. Das eine derselben enthält ein rechts gewundenes, das zweite ein links gewundenes Schraubengewinde, und beide nehmen eine mit entsprechend geschnittenen Gewinden versehene Spindel, die Bremsspindel, auf, so dass die beiden Stahlgussstücke durch eine Drehung der Spindel entweder einander näher gebracht oder von einander entfernt werden können. Werden die beiden Stahlgussstücke eines Bremsbandes durch entsprechende Drehung der Spindel einander genähert, so verringert sich der Umfang des Bremsbandes, die Bremsklötze werden an den Umfang des Bremsrades gepresst und die mit letzterem festverbundene Haupttrommel in ihrer Rotation zurückgehalten; durch Entfernen der Stahlgussstücke von einander, bei entgegengesetzter Spindeldrehung, wird die Bremse gelüftet. Die



Bremsspindel ist nach einer Seite verlängert und mit einem mit Handgriffen versehenen Rade ausgerüstet, so dass die Bremse leicht und bequem von einem Manne bedient werden kann. Vor den beiden

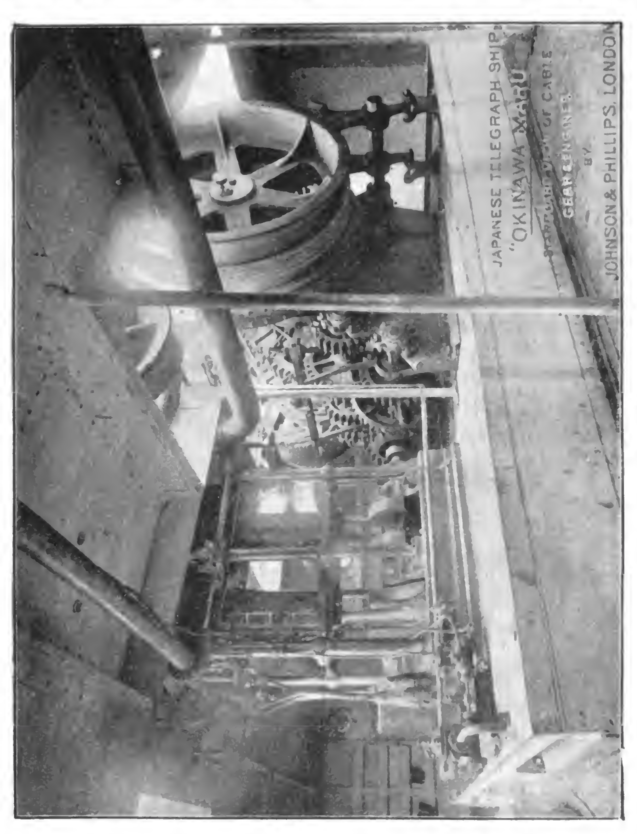


Fig. 113.

Haupttrommeln sind schliesslich noch die beiden tief eingeschnittenen Spannrollen angebracht, an deren eine das Kabel beim Auslegen durch eine mittels eines Gewichtes belastete Scheibe kräftig ange-

presst wird, bevor es um die Haupttrommel herumgewunden wird. Diese Spannvorrichtung hat den Zweck, die um die Haupttrommel gelegten Windungen des Kabels anzuspannen, damit die Friktion konstant erhalten bleibt und nicht etwa durch ein plötzliches Nachlassen der Spannung und einen unmittelbar darauf folgenden heftigen Zug das Kabel gefährdet werde. Zu diesem Behufe muss die Umdrehungsgeschwindigkeit der Spannrolle mit jener der Haupttrommel durch eine geeignete Übersetzung oder Bremsvorrichtung in ein bestimmtes Verhältnis gebracht werden.

Die ganze Auslege- und Einholmaschine ist so eingerichtet, dass sich das Räderwerk leicht ausrücken lässt, so dass sich die Haupttrommeln auch frei um ihre Achsen drehen können und dass die beiden gleichen Hälften der Doppelmaschine zu einander in verschiedene Kombinationen gebracht werden können. Es können beide Trommeln frei um ihre Achsen laufen, ohne dass das Getriebe der Maschine in Thätigkeit ist; beide Trommeln können von der Maschine mit gleicher Geschwindigkeit angetrieben werden; es kann weiter eine Trommel von der Maschine angetrieben werden, während die andere frei läuft, und schliesslich kann durch Verbindung beider Getriebe die Bremswirkung der einen Trommel auf die andere übertragen werden, so dass die gesamte Bremskraft verdoppelt wird. Schliesslich ist der Maschine noch eine kleine Pumpe beigegeben, welche sowohl die Hauptbremsen als auch die Spannbremsen mit Wasser versieht. In Fig. 112 ist die auf dem Verdecke des Kabelschiffes »Tutanekai« aufgestellte Auslege- und Einholmaschine abgebildet, welche dafür konstruiert ist, Kabel unter einem Zuge von 20 Tonnen einzuholen, obgleich sie selbst nur ein Gewicht von $9^1/_4$ Tonnen besitzt. Die in Fig. 113 dargestellte Auslege- und Einholmaschine ist unter dem Hauptdeck des japanischen Kabelsteamers »Okinawa Maru« angebracht, durchweg aus Stahl angefertigt und bei einem Gewichte von 21 Tonnen auf einen Kabelzug von 25 Tonnen berechnet.

Ferner ist jedes Kabelschiff mit sogenannten Auslegerollen ausgerüstet, über welche das Kabel ins Meer hinaus geführt wird. Fig. 114 zeigt die Auslegerollen des japanischen Kabeldampfers »Okinawa Maru«. Am Buge dieses Schiffes sind drei Auslegerollen neben einander angeordnet, welche einen Durchmesser von ca. 3 englischen Fuss haben und auf einer Stahlwelle lose aufgeschoben sind. Die Rollen sind mit geeigneten Vorrichtungen versehen, um ein Abfallen des Kabels zu verhindern.

Es erübrigt nur noch, zu erwähnen, dass zur vollständigen Ausrüstung eines Kabelschiffes ausser sämtlichen seemännischen Vorrichtungen, Apparaten und Instrumenten noch ein vollständig

eingerichtetes Messzimmer gehört, in welchem die elektrischen Eigenschaften des Kabels während seiner Verlegung einer ununterbrochenen Kontrolle unterzogen werden können und welches auch alle Apparate

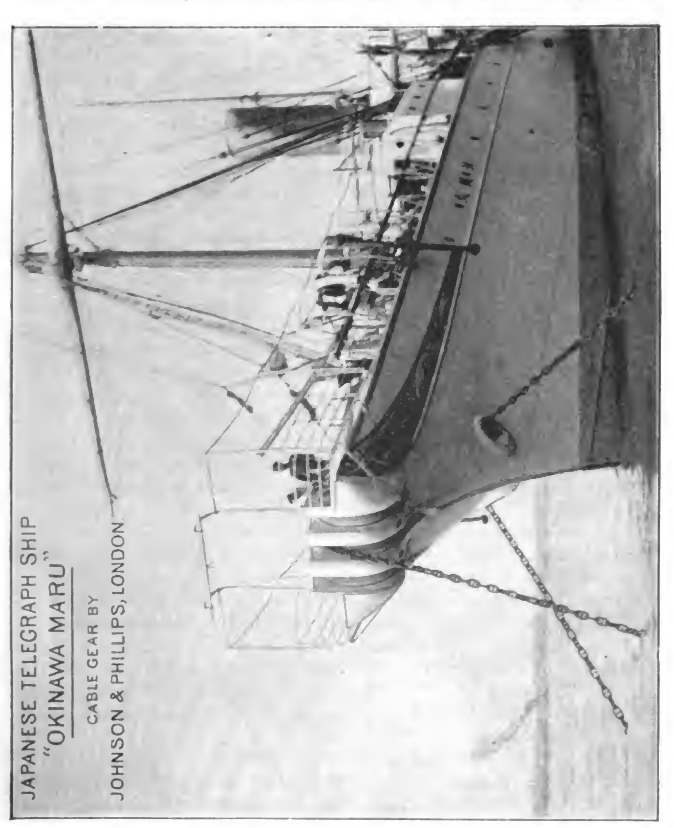


Fig. 114.

enthält, die zur telegraphischen Korrespondenz mit der Landstation geeignet sind. Endlich muss auf dem Schiffe ausser einer guten Sondiermaschine noch ein entsprechender Vorrat von Ankern, Bojen,

Tiefseeloten und allen sonstigen Behelfen vorhanden sein, die zum zweifellosen Gelingen einer Kabellegung erforderlich sind.

Nachdem nun die Einrichtung eines modernen Kabelschiffes im allgemeinen besprochen wurde, sollen noch in Kürze die Arbeiten und Vorgänge beschrieben werden, welche eine submarine Kabellegung mit sich bringt.

Gelegentlich der Besprechung der Konstruktion submariner Kabel wurde wiederholt erwähnt, dass die Konstruktion der Seekabel von den Tiefen, in welche sie verlegt werden sollen, abhängig ist. Während ein Kabel in grossen Tiefen vor Zerstörung im allgemeinen geschützt ist, wird es in geringeren Tiefen, namentlich in der Nähe von Küsten, den Angriffen der verschiedenartigsten Seetiere, der Schiffsanker und des Seeganges preisgegeben. Es ist daher einleuchtend, dass man Küstenkabel mit viel stärkeren Eisenpanzern versehen muss, als dies bei Tiefseekabeln notwendig erscheint.

In dem Masse als die Tiefe zunimmt, wächst aber auch der Zug, den ein während seiner Verlegung oder Einholung vom Schiffe auf den Meeresboden herabhängendes Kabel ausübt, und man ist daher auch aus diesem Grunde genötigt, bei zunehmender Tiefe das Gewicht des Kabels unter Einhaltung einer möglichst grossen absoluten Festigkeit thunlichst zu verringern, welcher Umstand daher abermals für die Konstruktion des Kabels massgebend ist.

Bevor also zu der Konstruktion des zu legenden Kabels geschritten wird, ist es aus den eben besprochenen Gründen unerlässlich, die Meerestiefen in der projektierten Kabeltrasse durch gewissenhafte Messungen genau zu ermitteln. Dabei ist jedoch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass zwischen den einzelnen sondierten Stellen, welche stets in grösseren oder kleineren Abständen von einander gewählt werden müssen, dennoch bedeutende Unebenheiten des Bodens, Berge und Schluchten vorkommen, welche dem Kabel Gefahr bringen können, und es ist daher unumgänglich notwendig, dass die Instrumente, mit denen die Sondierungen vorgenommen werden, Proben des Meeresbodens aus der Tiefe heraufbringen, aus welchen mit einiger Sicherheit auf die Beschaffenheit des Bodens und daraus weiter auf seine Neigung ein Schluss gezogen werden kann.

Die Sonden, welche man zu solchen Tiefseemessungen verwendet, werden heute schon in den verschiedensten Formen hergestellt; sie besitzen alle die Einrichtung, Proben vom Meeresgrunde emporzubefördern, und schwere Sonden werden weiter noch derart konstruiert, dass sie beim Aufschlagen auf den Boden des grössten Teiles ihres Gewichtes entlastet werden, wodurch das Einholen der Sonde erleichtert wird.

Die Einrichtung zum Heraufbringen von Grundproben ist hierbei im allgemeinen auf zweierlei Art getroffen. Entweder die belastete Sonde dringt mit der Mündung eines in vertikaler Richtung befestigten, mit Unschlitt oder Seife gefüllten Rohres in den Grund, wobei im Rohre Bestandteile des Bodens haften bleiben, welche mit dem Rohre emporgewunden werden, während das Gewicht beim Aufschlagen der Sonde abfällt und am Meeresgrunde liegen bleibt, oder die Sonde ist mit einem Maule versehen, welches beim Aufschlagen der Sonde Bodenbestandteile aufnimmt und durch eine geeignete Vorrichtung zusammenklappt. Zu den Sonden ersterer Art gehört das Brook'sche Tiefseelot, zu jenen der zweiten Art das Fitzgerald'sche Tiefseelot und das Lucaslot, von deren näheren Beschreibung hier jedoch Abstand genommen wird.

Zur Ausführung der Tiefenmessung wird die Sonde an das Ende eines dünnen Stahldrahtes, eines sogenannten Klaviersaitendrahtes, befestigt, welcher auf einer an der Sondiermaschine angebrachten Trommel aufgewunden ist und ein Messrad passiert. Nun wird die Sonde über eine Auslegerolle bis zum Meeresspiegel herabgelassen, der Zeiger der Zählvorrichtung des Messrades auf Null gestellt und sodann die Sonde während entsprechender Bremsung hinabgelassen. Die modernen Sondiermaschinen sind so eingerichtet, dass die Bremskraft automatisch mit dem Zuge der Sondierleine zunimmt, so dass das Lot mit gleichmässiger Geschwindigkeit hinabsinkt. Hat das Lot den Meeresboden erreicht, so wird die Maschine automatisch gestoppt und am Zählwerke kann man die vorhandene Tiefe direkt ablesen.

Das Hinaufwinden der Sonde geschieht bei geringen Tiefen mittels einer Kurbel durch Menschenkraft, bei grösseren Tiefen mittels einer kleinen Dampfmaschine. Fig. 115 zeigt die Gesamtansicht der Lucas-Sondiermaschine, welche beim Aufwinden des Lotes mittels eines Zahnradgetriebes durch eine kleine Dreicylinder-Dampfmaschine bethätigt werden kann.

Ist nun durch die vorgenommenen Tiefenmessungen, welche in eine Seekarte sorgfältigst verzeichnet werden müssen, die Trasse des zu legenden Kabels bestimmt, so kann darnach die Konstruktion des Kabels festgesetzt und nach Vollendung desselben an die Auslegung geschritten werden.

Bei der Bemessung der Kabellänge ist zu der Länge des vorgezeichneten Schiffskurses mit Rücksicht auf die Unebenheiten des Meeresbodens und auf etwaigen Verlust an Kabel infolge des voraussichtlichen Mehrauslegens ein entsprechender Prozentsatz hinzuzuschlagen.

Nun wird das Kabel in die Kabeltanks des Schiffes in der

bereits besprochenen Weise eingestaut. Sind sämtliche Vorbereitungen zur Kabellegung getroffen, so wird zunächst mit der Legung des Küstenkabels begonnen und das Kabelschiff zu diesem Zwecke zur Landungsstelle expediert. Die lokalen Verhältnisse und der



Fig. 115.

Tiefgang der Schiffe gestatten es gewöhnlich nicht, dass das Kabelschiff bis ans Ufer oder wenigstens in die unmittelbare Nähe desselben gelangen kann, und deshalb muss das Ende des Küstenkabels auf andere Weise gelandet werden. Das Kabelschiff wird in der Nähe

der Landungsstelle verankert, vom Schiffe mittels Boote vorerst ein starkes Tau ans Land gezogen und daselbst über eine Rolle gelegt, welche unmittelbar an der Landungsstelle gehörig befestigt wird. Während an dem einen Ende des Taues am Schiffe das Küstenkabel befestigt wird, wird das gelandete Ende mittels einer Dampfwinde aufgewunden und auf diese Weise das Kabelende gegen das Ufer gezogen. Hierbei darf das Kabel jedoch nicht am Meeresgrunde schleifen, sondern muss mittels Boote und Bojen schwebend erhalten werden. Das gelandete Kabelende wird sodann in einen etwa 1 *m* tiefen Graben gebettet, welcher, den örtlichen Verhältnissen entsprechend, zuweilen in ganz beträchtlicher Länge auch in die See hineingezogen werden muss. Auf diese Weise wird das Kabel in ein Kabelhaus eingeführt, wo es an die offene Leitung angeschlossen werden kann. Wie dies bereits bei Besprechung der Flusskabellegung erwähnt wurde, muss auch das Ende des Seekabels an entsprechend konstruierten Kabelhaltern solid befestigt werden, um zu verhindern, dass die durch den Seegang oder durch andere Umstände hervorgerufenen Zerrungen des Kabels auf die Ader desselben übertragen werden.

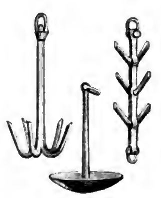


Fig. 116.

Nun kann mit der eigentlichen Kabellegung begonnen werden. Das aus dem Kabeltank austretende Kabel ist zunächst zur tief eingeschnittenen Spannrolle der Auslegemaschine (Fig. 111) geführt, deren Umdrehungsgeschwindigkeit durch entsprechende Übersetzung derart zu regeln ist, dass sie im Vergleiche mit jener der Haupttrommel etwas zurückbleibt. Sodann wird das Kabel in 3 bis 4 Windungen um die Haupttrommel herumgelegt, gelangt von hier über eine fixe Rolle zum Dynamometer, ferner über eine zweite fixe Rolle durch ein Zählwerk, an welchem die Länge des ausgelegten Kabels abgelesen werden kann, und endlich zur Auslegerolle, von welcher aus es ins Wasser hinabsinkt. Wenn das Ende des Küstenkabels gelandet und am Ufer gehörig versichert ist, so kann das Schiff in Bewegung gesetzt werden. Von diesem Zeitpunkte an muss die Bremse in Aktion treten und nach den Anzeigen des Dynamometers ununterbrochen reguliert werden. Die Küstenkabel werden zuweilen viel früher oder von anderen Fahrzeugen als das Tiefseekabel gelegt; in diesem Falle wird dann das Ende des Küstenkabels vorläufig auf den Grund hinabgesenkt. Zu diesem Zwecke wird das Kabelende an der Kette einer grossen Boje befestigt, welche mittels des in Fig. 116 in der Mitte abgebildeten sogenannten P i l z a n k e r s am Grunde festgehalten wird und die Lage des Kabelendes markiert. Der schwere Pilzanker, auch Champignon genannt,

vergräbt sich im Schlamme und hat den Zweck, jeden Zug der Bojenkette aufzunehmen, bezw. vom Kabel abzuhalten, bis dasselbe zur Spleissung mit dem Tiefseekabel an der Bojenkette wieder emporgehoben wird. Es kann vorkommen, dass die Boje durch Stürme hinweggerissen wird, und dann ist das Einholen des versenkten Kabels etwas umständlicher. In diesem Falle wird der Kurs des Kabelschiffes vorerst zwischen dem Ufer und dem Ende des Küstenkabels quer über die Kabeltrasse gerichtet und mit dem Schiffe, von welchem über die Kabeleinholmaschine einer der beiden anderen in Fig. 116 abgebildeten sogenannten Kabelfischanker (Grapnell) auf den Meeresboden herabgelassen wurde, so lange über das Kabel hin und her gefahren, bis der suspendierte Anker das Kabel gefasst hat, was durch die plötzlich wachsende Spannung der Ankerkette am Dynamometer erkennbar ist. Die Schiffsmaschine wird sodann gestoppt und der Anker mit dem Kabel mittels der Kabeleinholmaschine emporgewunden. Ist das Kabel über dem Wasserspiegel angelangt, so wird es mittels Hanftaue vollends an Bord gezogen und die Spleissung mit der anzuschliessenden Kabeltype bezw. dem Tiefseekabel vorgenommen.

Zu diesem Behufe wird zunächst das eine Kabelstück, auf 30 *cm* vom Ende entfernt, mit 1 — 2 *mm* starkem Eisendrahte fest umwickelt, um ein weiteres Aufgehen der obersten Compoundschichten und der Armatur zu verhindern. Hierauf werden die Compoundhülle und die einzelnen Armaturdrähte auf die erwähnte Länge entfernt, die innere Juteumspinnung jedoch sorgfältig zurückgelegt und das Ende der Kabelader für die Spleissung vorbereitet. Das Ende des anzuspleissenden Kabelstückes wird auf eine Länge von etwa 5 *m* in ähnlicher Weise zugerichtet, jedoch mit dem Unterschiede, dass die Armaturdrähte nicht abgeschnitten, sondern sorgfältig losgelöst und zurückgebogen und, die innere Jute auf 60 *cm*, die Seele auf 30 *cm* vom Drahtbunde entfernt, abgeschnitten werden. Nun wird die Spleissung der Guttaperchaader in einem Zelte nach der bereits auf Seite 114—116 beschriebenen Methode vorgenommen und die Verbindungsstelle nach ihrem Erkalten unter Wasser einer elektrischen Prüfung unterzogen. Sodann wird die Verbindungsstelle mit den Jutesträngen beider Kabelenden umgeben und die so gebildete Juteschicht mit einem haltbaren Garne fest umwickelt. Über die so weit fertige Verbindungsstelle wird von dem auf 5 *m* präparierten Kabelende ein Armaturdraht nach dem anderen in den von ihm früher eingenommenen Windungen an Stelle des korrespondierenden Armaturdrahtes des anderen Kabelendes eingelegt und letzterer in entsprechender Distanz abgeschnitten. Hierdurch werden die Armaturdrähte des zweiten Kabelendes allmählich durch die Armaturdrähte

des ersten Kabelendes ersetzt, wobei die Stösse der einzelnen Drähte um je 80 *cm* gegen einander versetzt werden, um ein genügendes Übereinandergreifen der beiden Armaturen zu erzielen. Die ganze Verbindungsstelle, deren Durchmesser nicht viel grösser sein soll als jener des Kabels, wird schliesslich, beiderseits auf etwa 1 *m* übergreifend, in ihrer ganzen Länge mit Schiffsgarn fest umwickelt.

Nach vollendeter Spleissung wird das Kabel vorsichtig ins Meer versenkt, wobei jeder plötzliche, die Spleisstelle leicht gefährdende Ruck auf das peinlichste vermieden werden muss. Hierauf wird die Verlegung des Tiefseekabels vorgenommen und schliesslich das Ende desselben mit dem etwa schon früher verlegten zweiten Küstenkabel in gleicher Weise verbunden.

Während der ganzen Verlegung müssen im Messraume die elektrischen Eigenschaften des Kabels ununterbrochen beobachtet werden, so dass jeder etwa auftretende Fehler, sobald die Fehlerstelle unter Wasser gelangt ist, sofort bemerkt werden kann. Wird vom dienstthuenden Elektriker ein Fehler gemeldet, so muss die Legung unverzüglich unterbrochen und die Lage der Fehlerstelle auf elektrischem Wege ermittelt werden, worauf das Kabel bis zur Fehlerstelle eingeholt und letztere ausgebessert oder ausgeschnitten wird. In letzterem Falle werden die durch das Eliminieren der Fehlerstelle entstandenen Enden zusammengespleisst, die Spleissstelle auf ihre Beschaffenheit geprüft und sodann die Kabellegung weiter fortgesetzt.

Ausser den Messungen des Isolierwiderstandes des Kabels wird während der Verlegung auch seine Sprechfähigkeit von Zeit zu Zeit geprüft. Zu diesem Zwecke wird am Ufer eine mit dem bereits liegenden Kabel verbundene Landstation installiert, in welcher ebenfalls alle Instrumente vorhanden sind, welche sowohl zu Messungen als auch zur telegraphischen Korrespondenz geeignet erscheinen. In dieser Landstation wird die Ader des Kabels gewöhnlich sorgfältig isoliert gehalten, um die Isolationsmessungen vom Schiffe aus zu ermöglichen. Von Zeit zu Zeit, also beispielsweise jede Stunde, wird die Ader daselbst in die Telegraphenapparate eingeschaltet und durch den Austausch einiger Depeschen mit dem kabellegenden Schiffe die Sprechfähigkeit des Kabels konstatiert.

III. Teil.

Die elektrischen Erscheinungen und Messungen der isolierten, elektrischen Leitungen.

Auf die Wichtigkeit der elektrischen Konstanten, und zwar des Leitungswiderstandes bezw. der Leitungsfähigkeit und der Kapazität des metallischen Leiters, sowie des Isolationswiderstandes der Isolierhülle für die Qualität der isolierten, elektrischen Leitungen, wurde bereits wiederholt hingewiesen. Nachdem dieselben im I. Teile auch einer allgemeinen Besprechung unterzogen wurden, so kann nunmehr auf eine eingehendere Betrachtung sowohl dieser Konstanten als auch der mit ihnen in innigem Zusammenhange stehenden Stromverhältnisse unmittelbar eingegangen werden.

I.

Die elektrischen Erscheinungen.

Der Leitungswiderstand und die Leitungsfähigkeit.

Der Widerstand eines Körpers ist in erster Linie von dem Masse seiner Fähigkeit, den elektrischen Strom weiterzuleiten, also von seiner elektrischen Leitungsfähigkeit, abhängig, in zweiter Linie aber auch durch seine Dimensionen, die Länge und den Querschnitt bedingt. Es ist:

$$R = \frac{L}{G \cdot S}$$

wobei R der Widerstand, L die Länge, G die Leitungsfähigkeit und S den Querschnitt des Körpers bedeutet.

Vergleicht man die Widerstände zweier Körper von ganz gleicher Länge und gleichem Querschnitte, aber von verschiedener materieller Beschaffenheit mit einander, so findet man bei jenem Körper den grösseren Widerstand, der die geringere Leitungsfähigkeit besitzt.

Der elektrische Widerstand und die Leitungsfähigkeit sind reziproke Begriffe; es ist:

$$R = \frac{1}{G}.$$

Nachdem also behufs vergleichender Messung des Widerstandes verschiedenartiger Körper dieselben in ihren Dimensionen übereinstimmen müssen, wählte man zu diesem Zwecke die Volumenseinheit, d. i. ein Würfel, dessen Kanten der Längeneinheit gleich sind, und bezeichnete den elektrischen Widerstand eines Körpers von bestimmtem Materiale, bezogen auf die Volumenseinheit, als den spezifischen Widerstand oder Widerstandskoëffizienten dieses Körpers.[1])

Wird der spezifische Widerstand mit ϱ bezeichnet, so ist

$$R = \varrho \cdot \frac{L}{S}.$$

Den reziproken Wert des spezifischen Widerstandes nennt man die spezifische Leitungsfähigkeit γ

$$\varrho = \frac{1}{\gamma}.$$

Der Ausdruck »spezifischer Widerstand« giebt in der Praxis zu verschiedenen Deutungen Anlass, denn man hat es gewöhnlich mit der Messung von Drähten zu thun, und da erscheint der Widerstand des Materiales, bezogen auf seine Volumenseinheit, vielfach unbequem und hat sich deshalb für jeden Körper der Widerstand eines Drahtes von 1 *m* Länge und 1 mm^2 Querschnitt desselben Materiales als Ausdruck für seinen spezifischen Widerstand eingebürgert.

Sehr häufig wird jedoch die Leitungsfähigkeit des Quecksilbers bei 0° C der Bestimmung des spezifischen Widerstandes zu Grunde gelegt, wobei dieselbe = 1 und somit auch der Widerstand des Quecksilbers = 1 angenommen wird. Sagt man nun beispielsweise, eine Kupfersorte habe die Leitungsfähigkeit von 59, bezogen auf Quecksilber, so ist damit ausgedrückt, dass die untersuchte Kupfersorte bei 0° C 59 mal besser leitet als Quecksilber von gleichen Dimensionen und bei gleicher Temperatur.

Ein Vergleich zwischen der elektrischen und der Wärmeleitungsfähigkeit der Metalle zeigt, dass ihre elektrische Leitungsfähigkeit ihrer Wärmeleitungsfähigkeit proportional ist.

Wenn also ein Metall die Wärme besser leitet als ein anderes Metall, so leitet es auch die Elektrizität besser als dieses.

Die elektrische Leitungsfähigkeit bezw. der Widerstand der Körper ist aber auch von ihrer Temperatur abhängig, weshalb die in Tabellen

---

[1]) Siehe Prasch-Wietz, Die elektrotechnischen Masse, Leipzig 1895, S. 54.

etwa angeführten Zahlen auch nur für bestimmte Temperaturen Gültigkeit haben.

Der Widerstand der Metalle und Legierungen vermehrt sich im allgemeinen mit der Temperatur, und zwar nach der Formel:

$$r_t = r_o (1 + at + bt^2)$$

wenn r_t den Widerstand bei der Temperatur t
r_o » » » » o
a und b numerische Konstanten bedeuten,

welche für jeden Leiter besonders bestimmt werden müssen.

Für praktische Zwecke begnügt man sich innerhalb mässiger Temperaturunterschiede mit den Formeln:

$$r_t = r_o (1 + at) \text{ und } r_o = \frac{r_t}{1 + at} = r_t (1 - at).$$

Die Konstante a ist für:

Quecksilber	0.0007485
Neusilber	0.0004433
Kupfer	0.003718

und kann für die meisten reinen Metalle mit 0.003824 annähernd angenommen werden.

Die Legierungen zeigen bezüglich ihrer Leitungsfähigkeit ein eigentümliches Verhalten. Manche unter denselben zeigen als Leitungsfähigkeit das aus den Leitungsfähigkeiten ihrer Bestandteile dem Volumen nach berechnete Mittel, andere zeigen ein ganz abweichendes Verhalten. Ähnliche Unregelmässigkeiten findet man, wenn geringe Quantitäten anderer Metalle zu reinen Metallen zugesetzt werden. Die Leitungsfähigkeit des Kupfers, wird sowohl durch Zusätze von anderen Metallen, als auch von Kohle, Phosphor, Arsen und namentlich durch Oxydation des Kupfers stets vermindert.

Die Leitungsfähigkeit des Eisens vermindert sich mit steigendem Gehalt an Kohle, jene des Quecksilbers wächst durch metallische Verunreinigungen.

In Bezug auf Veränderung des Widerstandes mit der Temperatur zeigen die Legierungen auch wenig Regelmässigkeit. Es möge hier nur das Neusilber erwähnt werden.

Neusilber besitzt nicht nur eine geringe Leitungsfähigkeit, sondern sein Widerstand wächst bei Temperaturzunahme auch nur um ein geringes; die Zunahme seines Widerstandes beträgt bei einer Temperaturzunahme von 1° C nur 0.036 %, daher wird diese Legierung auch häufig zur Herstellung von Widerstandsskalen verwendet. Noch geringere Leitungsfähigkeiten und Widerstandszunahmen infolge Temperaturerhöhung zeigt das Nickelin von Dr. Geitner und Patentnickel von Basse & Selve. Dieses erleidet bei einer Temperatur-

erhöhung von 1° C. eine Widerstandszunahme von 0.019%, jenes von 0.028—0.019%.

Die Leitungsfähigkeit der Metalle wird ferner auch durch ihre Härte, Dichte und Spannung beeinflusst. Alle beim Ziehen hartgewordenen Drähte weisen im allgemeinen eine (oft um 10—15%) geringere Leitungsfähigkeit auf als weiche ausgeglühte Drähte.

Das Aufwickeln oder Spannen eines Kupfer- oder Eisendrahtes verringert seine Leitungsfähigkeit, wogegen dieselbe durch Abwickeln des Drahtes zunimmt.

Von besonderer Bedeutung sind die Änderungen der Widerstände infolge Temperaturschwankungen bei jenen Substanzen, welche man als Isolatoren verwendet. Während bei guten Leitern der Widerstand mit der Temperatur wächst, nimmt derselbe bei schlechten Leitern bei zunehmender Temperatur ab.

Bei der Fabrikation isolierter elektrischer Leitungen und insbesondere bei der Kabelfabrikation ist die Kenntnis des Leitungswiderstandes vom Kupfer, wie schon erwähnt wurde, von grösstem Interesse.

Es ist auch bereits bekannt, dass in Bezug auf die Abhängigkeit von den Dimensionen und der Leitungsfähigkeit für den Leitungswiderstand die Gleichung:

$$R = \frac{L}{G\,S}$$

massgebend ist (siehe S. 148). Es ist weiter bekannt, dass für die Abhängigkeit von der Temperatur in jenen Fällen, in welchen es sich nicht um grosse Genauigkeit handelt, die Zunahme des Widerstandes nach Formel

$r_t = r_o\,(1 + at)$ berechnet werden kann,

wobei für Kupfer $a = 0.003718$ zu setzen ist.

Da jedoch das in Kabeln verarbeitete Kupfer nie rein ist und sich in demselben durch das Giessen Beimischungen von nicht leitendem Kupferoxydul und durch das Ziehen solche von Eisen und Stahl befinden, so ist obige Formel nicht mehr richtig. Da ferner der gemessene Widerstand in der Regel auf die Temperatur von 15° C. reduziert werden muss, so ist hierfür die Formel:

$$r_{15} = r_t\,[1 - 0.003718\,(t - 15^0) + 0.00000882\,(t - 15^0)^2]$$

zu benutzen.

Mit Zugrundelegung dieser Formel wurde umstehende Tabelle berechnet (S. 152).

Etwas komplizierter als bei einfachen Drähten gestaltet sich die Berechnung des Kupferwiderstandes bei Drahtlitzen.

Eine einfache Litzenform ist die siebendrähtige Litze Fig. 117.

Tabelle
über die Reduktion des Kupferwiderstandes auf 15° C.

Der bei der Temperatur t gemessene Kupferwiderstand ist mit dem Koëffizienten c zu multiplizieren, um denselben auf 15° C zu reduzieren.

t	c	log c	t	c	log c
25.0	0.9637	9.98394	12.0	1.0112	0.00485
24.5	0.9655	9.98474	11.5	1.0131	0.00566
24.0	0.9673	9.98554	11.0	1.0150	0.00647
23.5	0.9690	9.98634	10.5	1.0169	0.00728
23.0	0.9708	9.98714	10.0	1.0188	0.00809
22.5	0.9726	9.98794	9.5	1.0207	0.00890
22.0	0.9744	9.98874	9.0	1.0226	0.00972
21.5	0.9762	9.98954	8.5	1.0245	0.01053
21.0	0.9780	9.99034	8.0	1.0265	0.01134
20.5	0.9798	9.99115	7.5	1.0284	0.01215
20.0	0.9816	9.99195	7.0	1.0303	0.01297
19.5	0.9834	9.99275	6.5	1.0322	0.01378
19.0	0.9853	9.99355	6.0	1.0342	0.01459
18.5	0.9871	9.99436	5.5	1.0361	0.01541
18.0	0.9889	9.99516	5.0	1.0381	0.01622
17.5	0.9908	9.99597	4.5	1.0400	0.01704
17.0	0.9926	9.99677	4.0	1.0420	0.01785
16.5	0.9944	9.99758	3.5	1.0439	0.01867
16.0	0.9963	9.99839	3.0	1.0459	0.01948
15.5	0.9981	9.99919	2.5	1.0479	0.02030
15.0	1.0000	0.00000	2.0	1.0498	0.02112
14.5	1.0019	0.00081	1.5	1.0518	0.02193
14.0	1.0037	0.00162	1.0	1.0538	0.02275
13.5	1.0056	0.00242	0.5	1.0558	0.02357
13.0	1.0075	0.00323	0.0	1.0578	0.02438
12.5	1.0094	0.00404			

Bei dieser Litze ist der mittlere Draht gerade ausgestreckt und um denselben die sechs übrigen Drähte mit einem gewissen Drall herumgewickelt. Wären alle Drähte gleich lang, so wäre der Widerstand der Litze:

$$R = \frac{1}{7} \frac{L}{G S}.$$

Weil aber die äusseren Drähte länger sind als die Seele, kann dieser Ausdruck auf keine Genauigkeit Anspruch machen. Sind alle sieben Drähte in der ganzen Länge der Litze und an allen Stellen, wo sie sich unter einander berühren, in leitendem Kontakte, so bilden sie einen einzigen Draht, dessen Querschnitt keine einfache Gestalt hat. Für die Berechnung des Widerstandes jedoch kommt

es nicht auf diese Gestalt an, sondern nur auf die Grösse des Querschnittes.

Wird dieser Querschnitt mit S bezeichnet, so ist der Widerstand der Litze:

$$R = \frac{L}{G\,S}.$$

S kann aus dem Volumen berechnet werden, da das Volumen der Litze gleich der Summe der Volumina der einzelnen Drähte ist, und man erhält:

$$L\,S = L\,s + 6\,L\,(1 + a)\,s,$$

wobei L die Länge der Litze, s den Querschnitt der einzelnen Drähte, L $(1 + a)$ die Länge der äusseren Drähte und a den Überschuss dieser Länge über die Länge der Litze, dividiert durch letztere, vorstellt. Daraus ist

$$S = 7s + 6as = 7s\left(1 + \frac{6}{7}a\right).$$

Für den Widerstand der Litze erhält man annähernd:

$$R = \frac{1}{7}\frac{L}{G\,s}\left(1 - \frac{6}{7}a\right);$$

derselbe ist also im vorliegenden Falle kleiner als derjenige von sieben gleich langen, parallel geschalteten Drähten von der Länge L.

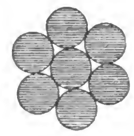


Fig. 117.

Sind im anderen Falle alle sieben Drähte gegen einander isoliert und nur an den beiden Enden verbunden, so kommt zur Berechnung des Gesamtwiderstandes eine Formel zur Anwendung, welche aus den Kirchhoff'schen Stromverzweigungsgesetzen folgt, auf deren Ableitung jedoch hier nicht näher eingegangen werden kann.

Diese Formel giebt den Widerstand R eines Zweigsystems, ausgedrückt in den Widerständen r der n Zweige, und lautet:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots\dots + \frac{1}{r_n}}$$

durch Substitution der im vorigen Falle eingeführten Werte, ergiebt sich der Widerstand der Litze

$$R = \frac{1}{G\frac{s}{L} + 6\,G\frac{s}{L\,(1 + a)}} = \frac{L}{G\,.\,s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{6}{1 + a}};$$

oder da a eine kleine Grösse, deren höhere Potenzen vernachlässigt werden können:

$$R = \frac{L}{Gs} \cdot \frac{1}{1 + 6\,(1 - a)} = \frac{1}{7}\frac{L}{Gs}\left(1 + \frac{6}{7}a\right).$$

Hieraus ist ersichtlich, dass in diesem Falle der Widerstand der Litze grösser ist als derjenige von sieben gleich langen, parallel geschalteten Drähten.

In Wirklichkeit nun sind die Drähte gewöhnlich bei einadrigen Kabeln weder gegen einander isoliert, noch haben sie überall in ihrer ganzen Länge unter einander Kontakt; es kommt daher auf die Art der Fabrikation an, ob mehr der erstere oder der letztere Fall vorliegt. Schliesslich kommt auch wesentlich die Dehnung in Betracht, welche die Drähte beim Durchgang durch die Maschine erleiden und welche, abgesehen von der Querschnittsverringerung des Drahtes, auch die Leitungsfähigkeit des Kupfers etwas verändert.

Der Isolationswiderstand.

Isoliert man das eine Ende eines Kabels und schaltet das zweite Ende an den einen Pol einer Batterie, deren anderer Pol an ein empfindliches Spiegel-Galvanometer gelegt wurde und von da zur Erde führt, so zeigt das Galvanometer folgende Stromerscheinungen an:

Zuerst schlägt das Lichtbild plötzlich und heftig aus, wie bei der Ladung eines Kondensators; dann kehrt es beinahe ebenso rasch in eine gewisse Ablenkung zurück, welche nun nach und nach immer langsamer abnimmt, bis endlich nach einiger Zeit eine konstante, sich nicht mehr verändernde Ablenkung eintritt.

Diese Erscheinung führt zu dem Schlusse, dass im ersten Augenblicke der Ladung eine gewisse Elektrizitätsmenge vom Kabel aufgenommen wird, die sich aber nach und nach aus demselben wieder verliert, und thatsächlich bildet der erste plötzliche Stromimpuls den sogenannten Ladungsstrom, welcher im Folgenden noch näher besprochen werden soll, und die später eingetretene konstante Ablenkung bildet ein Mass für den Isolationsstrom, d. i. jener Strom, der von der Kupferleitung des Kabels aus, durch die Kabelhülle hindurch, zur feuchten Oberfläche der Kabelhülle und von da zur Erde abströmt. Aus der Intensität dieses Stromes lässt sich unter gewissen Voraussetzungen der Widerstand der Kabelhülle, also der Isolationswiderstand des Kabels, berechnen.

Aus der Beobachtung der besprochenen Galvanometer-Ablenkungen folgt, dass der Isolationswiderstand eines Kabels unter Einfluss des Stromes mit der Zeit zunimmt, bis er einen konstanten Wert erreicht.

Wird nun das Kabel, nachdem der Isolationsstrom sein Minimum erreicht hat, von der Batterie abgeschaltet und an Erde gelegt, so kann man am Galvanometer eine der eben beschriebenen ganz ähnliche, aber umgekehrte Erscheinung wahrnehmen.

Das Lichtbild schlägt infolge des auftretenden Entladungsstromes wieder heftig, aber nach der entgegengesetzten Seite, aus; dann kehrt es in eine Ablenkung zurück, welche nach und nach immer kleiner wird, bis sich endlich kein Strom mehr wahrnehmen lässt und das Lichtbild wieder seine normale Gleichgewichtslage eingenommen hat.

Das Diagramm in Fig. 118 veranschaulicht den besprochenen Stromverlauf in einem Kabel, wobei auf der Geraden *a b* die Zeit, über *a b* die Galvanometerablenkungen in der einen Richtung und unter *a b* die Ablenkungen in der entgegengesetzten Richtung aufgetragen erscheinen. Die Gerade *a m* stellt die durch das rasche Ansteigen des Ladungsstromes bewirkte Ablenkung des Galvanometers

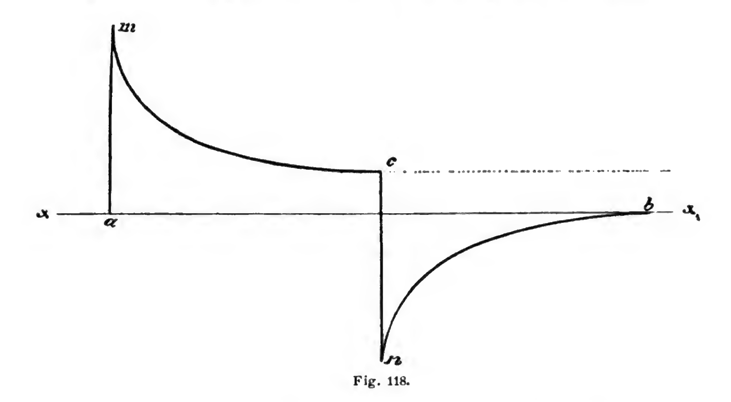


Fig. 118.

dar; nun nimmt die Ablenkung ab, bis sie im Punkte *c* einen konstanten, positiven Wert erreicht. Die Gerade *c n* zeigt den Verlauf des Entladungsstromes; in *n* kehrt das Lichtbild wieder um, bis es im Punkte *b* endlich seine Nullstellung erreicht.

Dieses eigentümliche Verhalten des Isolationsstromes hat zu den verschiedensten Deutungen Anlass gegeben; allein diejenige Vorstellung, welche die grösste Wahrscheinlichkeit für sich hat, ist jene, dass der Isolationsstrom in der Kabelhülle eine elektromotorische Gegenkraft erzeugt, welche beim Anlegen der Batterie ein gewisses Maximum erreicht und nach Abschaltung der Batterie einen entgegengesetzten Strom giebt, durch welchen sie selbst wieder vernichtet wird.

Die elektromotorische Gegenkraft des Isolationsstromes lässt sich am besten an der Hand der Verteilungstheorie von Faraday erklären. Sie entsteht durch die Elektrisierung der inneren Teile der Kabelhülle. Die Teilchen der Kabelhülle, welche im natürlichen Zustande bereits Elektrizität besitzen, laden sich noch mehr und stellen sich mit ihren elektrischen Achsen in eine bestimmte Richtung zum durchgehenden Strome. Dieser Vorgang geht infolge der schlechten Leitungsfähigkeit zwischen den einzelnen Teilchen und infolge der molekularen Kräfte, welche die Teilchen an ihrer Drehung hindern, langsam vor sich, und darin dürfte die Ursache des langsamen Sinkens des Isolationsstromes zu suchen sein.

Wird die Kupferleitung an Erde gelegt, so findet ein entgegengesetzter Vorgang statt. Die Teilchen geben nach und nach ihren Überschuss an Elektrizität, welchen sie vorher aufgenommen haben, wieder an die Kupferleitung ab, und dies bewirkt wieder das langsame Verschwinden des Entladungsstromes.

Nach dem Gesagten entspricht der Isolationswiderstand dem reziproken Werte des Isolationsstromes, als Widerstand aufgefasst, und die Veränderlichkeit des Isolationsstromes hat ihre Ursache mehr in der Veränderung der auftretenden elektromotorischen Kräfte als in einer Veränderung des Widerstandes.

Es lässt sich nicht bestimmen, ob und zu welcher Zeit der Isolationsstrom in Wirklichkeit den Widerstand der Kabelhülle angiebt, d. h. an welchem Punkte der Kurve in Fig. 118 die elektromotorische Kraft der Messbatterie einzig und allein im Stromkreise vorhanden ist. Verschiedene Auffassungen dieser Vorgänge sprechen einerseits dafür, den Isolationswiderstand aus dem Anfangswerte des Isolationsstromes zu berechnen, anderseits den konstanten Endwert des Isolationsstromes als massgebend anzunehmen. Thatsache ist, dass der gemessene Isolationswiderstand von der Dauer der Elektrisierung des Kabels abhängig ist.

Einen bedeutenden Einfluss auf den Isolationswiderstand hat aber auch die im Kabel herrschende Temperatur.

Die Veränderung des Widerstandes mit der Temperatur erfolgt bei jenen Körpern, welche als Isolatoren verwendet werden, nach einem ganz anderen Gesetze als bei den Metallen.

Bei Metallen kann man, wie bereits erwähnt wurde, wenn es nicht auf grosse Genauigkeit ankommt, innerhalb mässiger Temperaturgrenzen die Veränderung des Widerstandes der Temperaturänderung proportional setzen.

$$r_t = r_o (1 + at) \quad \text{(Siehe S. 150.)}$$

Wenn $r_{t'}$ der Widerstand bei der Temperatur t', so ist

$$r_{t'} = r_o (1 + at')$$

also $$r_{t'} - r_t = a r_o (t' - t)$$
und hieraus lässt sich folgern, dass gleichen Temperaturdifferenzen gleiche Widerstandsdifferenzen entsprechen.

Wenn sich also beispielsweise der Widerstand eines Drahtes bei einer Temperaturzunahme von 0° auf 5° um 3 Ohm vermehrt, so wird er auch bei einer Zunahme von 30° auf 35° um 3 Ohm zunehmen.

Bei den Isolatoren ist dies nicht der Fall; bei denselben ist die Abnahme des Widerstandes von 30° zu 35° bedeutend grösser als jene von 0° zu 5°, denn hier entsprechen gleichen Temperaturdifferenzen nicht gleiche Widerstandsdifferenzen, sondern gleiche Verhältnisse des Widerstandes.

Wenn a einen Koëffizienten vorstellt, der für jedes Material speziell bestimmt werden muss, so ist beispielsweise für Guttapercha und Gummi: $$r_t = r_o a^t$$
für die Temperatur t' ist daher
$$r_{t'} = r_o a^{t'}$$
also $$\frac{r_{t'}}{r_t} = a^{t' - t}$$
d. h. das Verhältnis der Widerstände bei zwei verschiedenen Temperaturen ist von der Temperaturdifferenz, nicht aber vom absoluten Werte der Temperaturen abhängig.

Aus letzterer Gleichung folgt weiter:
$$\log r_{t'} - \log r_t = (t' - t) \log a$$
d. h. die Differenz der Logarithmen der Widerstände ist proportional der Temperaturdifferenz.

Wenn also auch die Differenz der Widerstände bei 30° und 35° viel grösser als jene bei 0° und 5° ist, so ist doch das Verhältnis der Widerstände dasselbe, denn
$$r_{35} : r_{30} = r_5 : r_0.$$

Zur Berechnung des Widerstandes einer Guttaperchahülle bei einer gegebenen Temperatur dient folgende empirische Formel:
$$r_t = r_o \times 0.87604^t,$$
wobei abermals r_t den Widerstand bei der Temperatur t, r_o jenen bei 0 Graden bezeichnet.

Diese Formel logarithmiert giebt:
$$\log r_t = \log r_o + t \log 0{,}87604$$
oder $$\log r_t = \log r_o - 0.05748 \cdot t.$$

Werden Guttaperchawiderstände bei verschiedenen Temperaturen gemessen, so müssen dieselben, um mit einander verglichen werden zu können, auf eine und dieselbe Temperatur reduziert werden, und als solche nimmt man in Deutschland und Österreich + 15° Celsius

an. Es ist also:

$$r_{15} = r_0 \times 0.87604^{15}$$
$$r_t = r_0 \times 0.87604^t$$

somit

$$\frac{r_{15}}{r_t} = 0.87604^{15-t}$$

oder $$\log r_{15} - \log r_t = (15 - t) \log 0.87604$$

somit der reduzierte Widerstand

$$\log r_{15} = \log r_t + 0,05748\,(t - 15).$$

Zur raschen Ausführung der Reduktion hat **Fröhlich** die nachstehende Tabelle aufgestellt und hierbei den Faktor $c = 0.87604^{15-t}$ verwendet. Der bei der Temperatur t gemessene Guttaperchawiderstand ist nach dieser Tabelle mit dem Koëffizienten c zu multiplizieren, um denselben auf 15° Celsius zu reduzieren.

t	c	log c	t	c	log c
25.0	3.757	0.57479	12.0	0.6723	9.82756
24.5	3.516	0.54605	11.5	0.6292	9.79882
24.0	3.291	0.51731	11.0	0.5890	9.77008
23.5	3.080	0.48857	10.5	0.5512	9.74135
23.0	2.883	0.45983	10.0	0.5159	9.71261
22.5	2.698	0.43109	9.5	0.4829	9.68387
22.0	2.526	0.40235	9.0	0.4520	9.65513
21.5	2.364	0.37361	8.5	0.4230	9.62639
21.0	2.212	0.34487	8.0	0.3960	9.59765
20.5	2.071	0.31613	7.5	0.3706	9.56891
20.0	1.938	0.28739	7.0	0.3469	9.54017
19.5	1.814	0.25865	6.5	0.3247	9.51143
19.0	1.698	0.22992	6.0	0.3039	9.48269
18.5	1.589	0.20118	5.5	0.2844	9.45395
18.0	1.487	0.17244	5.0	0.2662	9.42521
17.5	1.392	0.14370	4.5	0.2492	9.39647
17.0	1.303	0.11496	4.0	0.2332	9.36773
16.5	1.220	0.08622	3.5	0.2183	9.33899
16.0	1.142	0.05748	3.0	0.2043	9.31025
15.5	1.068	0.02874	2.5	0.1912	9.28151
15.0	1.000	0.00000	2.0	0.1790	9.25278
14.5	0.9360	9.97126	1.5	0.1675	9.22404
14.0	0.8760	9.94252	1.0	0.1568	9.19530
13.5	0.8199	9.91378	0.5	0.1467	9.16656
13.0	0.7674	9.88508	0.0	0.1373	9.13782
12.5	0.7183	9.85630			

Hat man aber z. B. den Guttaperchawiderstand eines Kabels bei 10° C, gleich 2 Millionen Ohm gefunden und soll denselben auf 0° Celsius reduzieren, so ist nach dem Vorhergesagten, da

$$
\begin{aligned}
r_{10} &= 2 \\
\log r_{10} &= 0.30103 \\
\log c &= 9.71261-10 \quad \text{für } 10^{0} \\
\hline
\log r_0 &= 0.01364 \\
r_0 &= 1.0319 \text{ Mill. Ohm.}
\end{aligned}
$$

Die Temperaturreduktion ist aber auch von der Zeit bezw. von der Dauer der Elektrisierung abhängig, weil ja der Isolationswiderstand bei einer bestimmten Temperatur keine konstante Grösse ist.

Der Isolationswiderstand nimmt bei niederen Temperaturen mit der Dauer der Elektrisierung in grösserem Masse zu als bei höheren Temperaturen; daher ist auch das Verhältnis der Widerstände bei zwei verschiedenen Temperaturen beispielsweise nach der ersten Minute der Elektrisierung viel geringer als nach der fünften oder zehnten Minute, und in demselben Verhältnisse wie das Verhältnis der Widerstände ändert sich auch der in obigen Gleichungen massgebende Temperatur-Koëffizient a.

Diese Abhängigkeit des Isolationswiderstandes von der Temperatur und der Dauer der Elektrisierung erfordert es, dass bei den praktischen Kabelmessungen der Isolationswiderstand nach einer bestimmten Zeit der Elektrisierung, also gewöhnlich nach einer oder nach zwei Minuten, als Mass angenommen und für diese Grösse der Temperatur-Koëffizient a bestimmt wird.

Nachstehende Tabelle giebt über die Änderung des Widerstandes gewöhnlicher Guttapercha, mit Rücksicht auf die Dauer der Elektrisierung und die Temperatur, Aufschluss.

Celsius	24°	22°	20°	18°	16°	14°	12°	10°	8°	6°	4°	2°	0°
$T =$ 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.07	1.09	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11	1.12	1.15	1.17	1.20	1.23	1.28
3	1.13	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15	1.17	1.18	1.21	1.24	1.29	1.33	1.44
4	1.17	1.18	1.18	1.19	1.20	1.21	1.23	1.25	1.27	1.30	1.35	1.41	1.58
5	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26	1.29	1.32	1.34	1.39	1.47	1.64
10	1.28	1.29	1.30	1.31	1.33	1.34	1.36	1.40	1.44	1.48	1.57	1.68	1.91
15	1.31	1.33	1.34	1.35	1.37	1.40	1.43	1.47	1.52	1.59	1.67	1.82	2.11
20	1.33	1.35	1.37	1.39	1.41	1.45	1.48	1.53	1.58	1.65	1.76	1.92	2.29
30	1.35	1.37	1.39	1.42	1.45	1.49	1.55	1.60	1.67	1.76	1.89	2.08	2.53
40	1.37	1.40	1.43	1.47	1.51	1.56	1.62	1.69	1.74	1.87	2.03	2.22	2.71

In der ersten Zeile sind die Temperaturen angegeben; die erste linke Seitenkolonne giebt die Elektrisierungszeit T in Minuten an, und der Widerstand der Guttapercha nach einer Minute Elektrisierungszeit wurde gleich 1 angenommen.

Einen weiteren, in nicht unbedeutendem Masse sich geltend

machenden Einfluss auf den Isolationswiderstand übt der Druck aus, unter welchem die Oberfläche der Kabelhülle steht, und dies ist der Grund, dass in tiefer See liegende Kabel bei gleicher Temperatur und unter sonst gleichen Verhältnissen eine höhere Isolation zeigen als vor der Legung.

Für die praktischen Kabelmessungen ist es jedoch von Wichtigkeit, nicht allein die Eigenschaften und das Verhalten einer guten Kabelisolierung, sondern auch die Eigenschaften, die Entwickelung und die Merkmale von Isolationsfehlern genau zu kennen.

Bei der Kabelfabrikation ist das gänzliche Vermeiden von kleinen Isolationsfehlern fast unmöglich, denn beim Umpressen der Kupferader mit Guttapercha oder Gummi ist es bei der grössten Sorgfalt nicht ausgeschlossen, dass der isolierende Mantel nicht doch eine Anzahl Luft- und Wasserblasen enthält. Dasselbe gilt auch von allen anderen Arten der Isolierung. Bei Guttapercha- oder Gummiadern, welche auf Güte und Dauerhaftigkeit Anspruch machen sollen, pflegt man daher die Isolierhülle nicht in einer einzigen Operation herzustellen, sondern dieselbe aus mehreren über einander lagernden Mänteln zu erzeugen. Die schlechten Stellen des einen Mantels werden dann grösstenteils durch gute Stellen des zweiten Mantels gedeckt, und nur in den seltensten Fällen werden zwei schlechte Stellen über einander zu liegen kommen und einen wirklichen Isolationsfehler bilden.

Die Anwesenheit der wenigen, auf mechanischem Wege nicht mehr wahrnehmbaren Fehler zu erkennen und dieselben zu finden, bildet eine Hauptaufgabe des Kabelelektrikers.

Diese kleinen Fehler werden gewöhnlich durch sehr zarte, teils längs der Kupferader, teils an der Trennungsfläche zweier Mäntel befindliche Höhlungen verursacht, welche Luft und Feuchtigkeit enthalten. Diese Hohlräume bilden den Ursprung aller Isolationsfehler, wenn sie sich nach und nach erweitern und endlich die Kabelhülle zersprengen, so dass von der Kupferader ein kontinuierlicher Weg bis an die Peripherie der Kabelhülle gebildet ist.

Die mechanischen Manipulationen, welche nach Fertigstellung der Kabeladern, sei es nun beim Auf- und Abwickeln, beim Verseilen, bei weiteren Isolierungen u. s. f., noch notwendig sind, geben mehr als genug Anlässe zur Erweiterung dieser zarten Höhlungen; jedoch auch bei ruhig liegenden Kabeladern können solche namentlich durch Temperaturschwankungen oder auch durch elastische Nachwirkungen hervorgerufen werden. Erwärmt sich eine solche Kabelader, so werden die mit Luft und Wasserdampf gefüllten Höhlungen höheren Spannungen ausgesetzt, haben daher das Bestreben sich auszudehnen, und wenn die Elastizität der Isolierhülle

diesem Bestreben nicht mehr folgen kann, so müssen die Wände der Höhlungen notgedrungen zerreissen. Dieser Schaden kann aber durch Abkühlung der Ader nicht mehr gut gemacht werden, und so wird bei jedesmaliger Erwärmung die Isolationshülle immer etwas mehr beschädigt, bis sich endlich diese Risse bis an die Peripherie ausgedehnt haben.

Ein solcher Fehler ist durch elektrische Beobachtungen an der Verschiedenheit der Werte des Isolationswiderstandes bei abwechselnden Messungen mit dem Kupfer- und Zinkpole leicht erkennbar.

Man legt beispielsweise den Kupferpol einer Batterie von etwa 100 Volt Spannung an die Ader und bestimmt den Isolationswiderstand, worauf die Ader genügend lange mit der Erde leitend zu verbinden ist, um die durch die eben vorausgegangene Messung erfolgte Ladung zu entfernen. Nun bestimmt man den Isolationswiderstand bei gleicher Temperatur und bei gleicher Dauer der Elektrisierung mit Hilfe des Zinkpoles der Batterie. Ein Vergleich der beiden Messresultate giebt sofort über die Güte der Isolierung und über etwa vorhandene Fehler Aufschluss.

Bei einer vollständig gut, also fehlerlos isolierten Ader müssen die beiden Messresultate, abgesehen von den unvermeidlichen kleinen Beobachtungsfehlern, vollständig übereinstimmen, während der geringste Isolationsfehler, sobald also die Kupferader mit dem Wasser in direktem Kontakte ist, sich dadurch bemerkbar macht, dass bei der Messung mit dem Zinkpole ein grösserer Isolationswiderstand gefunden wird als bei Anwendung des Kupferpoles. Je grösser die Differenz der beiden Messresultate, desto grösser ist der Fehler.

Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass das in einem Risse in der Isolierhülle vorhandene Wasser durch den elektrischen Strom elektrolytisch in seine Bestandteile zersetzt wird. Dabei entwickelt sich, wenn der Strom vom Kabel in das umgebende Wasser übergeht, an der Kabelader Sauerstoff, bei umgekehrter Stromrichtung Wasserstoff.

Die Quantität des freien Wasserstoffes ist unter sonst gleichen Umständen mehr als doppelt so gross als jene des Sauerstoffes, da erstens auf ein Atom ausgeschiedenen Sauerstoffes zwei Atome Wasserstoff entfallen und zweitens der Sauerstoff vom Wasser stärker absorbiert wird als der Wasserstoff. Ein Teil des Sauerstoffes wird weiter zur Erzeugung von Wasserstoffhyperoxyd, ein anderer Teil zur Oxydation der Kupferader verbraucht. Die ausgeschiedenen Gase legen sich in Form von Blasen an die Kupferader an, und der Isolationsstrom kann nur durch die sehr dünne Wasserhülle, welche zwischen den Gasblasen und der Isolierhülle an den Wänden des Risses haftet, hindurchfliessen. Je grösser

diese Gasblase ist, oder je mehr Blasen sich ansetzen, desto grösser wird auch der Leitungswiderstand der dünnen Wasserschicht sein. Es muss also der Isolationswiderstand an der fehlerhaften Stelle beim Vorhandensein einer grösseren Wasserstoffblase grösser sein als beim Auftreten einer kleineren Sauerstoffblase. [1])

Bildet sich ein entstehender Fehler mehr und mehr aus, so kann man ausserdem noch andere Erscheinungen beobachten. Die Abnahme des Isolationsstromes verändert sich mit zunehmender Dauer der Elektrisierung; sie wird in den meisten Fällen geringer, und wenn der Fehler bereits ganz entwickelt ist, schwankt der Isolationsstrom in unregelmässiger Weise um einen mittleren Wert, und in diesem Falle kann man mit Sicherheit auf einen direkten Kontakt zwischen Kupfer und Wasser schliessen.

Die Isolierschicht der elektrischen Leitungen, möge sie aus was immer für einem Materiale bestehen, kann nie als eine absolut sichere betrachtet werden; der Isolationswiderstand hat stets nur einen relativen Wert und gilt bloss für eine gewisse elektrische Spannung. Ein mit einer dünnen Guttaperchahülle überzogener Kupferdraht kann bei Anwendung einer geringen Anzahl von Elementen einen ziemlich hohen Isolationswiderstand besitzen. Sobald aber Batterien von grösserer elektromotorischer Kraft benutzt werden, wird die Isolierschicht bald an ihrer schwächsten Stelle vom Strome durchbrochen, was natürlich einen Isolationsfehler bedeutet. Beobachtet man den Isolationsstrom bei einer isolierten Leitung und steigert man die Spannung der Stromquelle so lange, bis die Isolierung durchgeschlagen wird, so bemerkt man anfangs innerhalb der Grenzen, für welche die Isolierung sicher ist, ein mit der Spannung ziemlich gleichmässiges Wachsen des Isolationsstromes.

Nähert sich aber die Spannung jenem Maximum, welches die Isolierung gerade noch erträgt, so beginnt der Isolationsstrom un-

[1]) Eine interessante Anwendung der elektrolysierenden Wirkungen des Isolationsstromes machte Hipp an einem durch den Vierwaldstättersee gelegten Kabel. — Dieses Kabel zeigte schon nach wenigen Monaten so bedeutende Isolationsfehler, dass mehr als die Hälfte der Stromintensität verloren ging. Die Guttapercha war nämlich spröde und hatte zahlreiche Risse bekommen. Ein Aufnehmen des Kabels war unmöglich, da sich dasselbe tief in den Schlamm eingewühlt hatte. Hipp liess nun einen kräftigen Strom, der von einer Batterie von 72 Elementen erzeugt wurde, durch das Kabel gehen und zwar derart, dass die positive Elektrizität von der Batterie zum Kabel strömte. Dabei bildete sich an der Kabelader Sauerstoff, der das Metall oxydierte und so eine sich allmählich verdickende Isolierhülle aus Kupferoxyd erzeugte. Der erste Tag brachte keinen merklichen Erfolg; doch während des zweiten Tages sank der Stromverlust schon merklich und war nach drei Tagen schon so gering, dass der regelmässige Depeschendienst wieder aufgenommen werden konnte.

ruhig zu werden; man beobachtet stossweises Zunehmen, gefolgt von allmählichem Zurücksinken, bis endlich der Durchbruch erfolgt und der gesamte in der Leitung zirkulierende Strom durch die beschädigte Stelle zur Erde abfliesst.

Endlich ist der Isolationswiderstand noch von den Dimensionen der isolierten Leitung abhängig.

Betrachtet man zunächst ein Kabelstück von der Länge l, Fig. 119 und bezeichnet man den Durchmesser des Leitungsdrahtes mit $2r$, den äusseren Durchmesser der Isolierung mit $2R$. Denkt man sich weiter die Isolierschicht in dünne Hohlcylinder von sehr geringer Wanddicke $d\varrho$ zerlegt, so ist der Isolationsstrom genötigt, dieselben der Reihe nach von innen nach aussen zu passieren.

Denkt man sich nun einen solchen Hohlcylinder der Länge nach aufgeschlitzt und in eine Ebene ausgebreitet, so erhält man eine rechteckige Platte, deren Dicke $d\varrho$, deren Länge l und deren Breite gleich dem Umfange des betreffenden Hohlcylinders ist. Wird die Dicke $d\varrho$ unendlich klein angenommen, so besteht zwischen dem äusseren und inneren Umfange desselben kein wesentlicher Unterschied. Bezeichnet man den variablen Durchmesser dieses Cylinders mit 2ϱ, so ist der Umfang $2\pi\varrho$. Bezeichnet man ferner den spezifischen Leitungswiderstand des Isolationsmateriales mit s, so erhält man für den Leitungswiderstand der oben erwähnten rechteckigen Platte, welcher mit dem Widerstande des Hohlcylinders identisch ist, den Ausdruck:

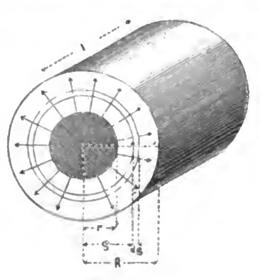


Fig. 119.

$$\frac{s\,d\varrho}{2\pi\varrho l}.$$

Lässt man nun ϱ der Reihe nach sämtliche Werte von $\varrho = r$ bis $\varrho = R$ durchlaufen und summiert man die entsprechenden Widerstände, so ergiebt sich für den Gesamtwiderstand

$$W = \int_r^R \frac{s\,dr}{2\pi\varrho l} = \frac{s}{2\pi l} \log\text{nat} \frac{R}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Der Isolationswiderstand ist somit der Länge des betrachteten Kabels umgekehrt proportional. Hat man denselben gemessen, so ergiebt sich der spezifische Leitungswiderstand

$$s = \frac{2\pi l \, . \, W}{\log nat \frac{R}{r}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

Führt man in Gleichung 1) an Stelle der Leitungswiderstände W und s die spezifische Leitungsfähigkeit $k = \frac{1}{s}$ und die Leitungsfähigkeit der Isolierhülle $F = \frac{1}{W}$ ein, so erhält man:

$$F = k \, . \, \frac{2\pi l}{\log nat \frac{R}{r}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2a)$$

Es gelingt leicht, die Gleichung 1) für Briggs'sche Logarithmen brauchbar zu machen.

Misst man *l* in Kilometern, so erhält man nach Fröhlich für Guttapercha den Isolationswiderstand aus der Formel:

$$W = \frac{2500}{l} \log \frac{R}{r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

wobei W in Ohm ausgedrückt erscheint.

Die Zahl 2500 ist jedoch nur als ein abgerundeter Mittelwert zu betrachten und gilt nur für die Temperatur von $+ 15^0$ C.

Die Formel 3) ist auch noch annähernd richtig, wenn der einfache Kupferdraht durch eine Litze ersetzt wird; nur muss man dann an Stelle des Drahtdurchmessers 2 r den Durchmesser d eines Kreises setzen, der mit der Kupferlitze 'gleichen Querschnitt hat.[1])

Aus dieser Formel ist nicht nur zu entnehmen, dass der Isolationswiderstand umgekehrt proportional der Länge des Kabels ist, sondern auch, dass es beim Isolationswiderstand nicht auf die absoluten Werte des äusseren und inneren Durchmessers der Isolation, sondern nur auf ihr Verhältnis zu einander ankommt. Der Isolationswiderstand bleibt also derselbe, wenn der Durchmesser des Kupferdrahtes in demselben Masse vergrössert oder verkleinert wird wie derjenige der Kabelhülle.

Die Ladung und die Kapazität.

Wäre es möglich, ein Kabel herzustellen, welches einen unendlich grossen Isolationswiderstand hätte, so würde beim Anlegen desselben an eine Batterie, vorausgesetzt, dass das andere Ende des Kabels isoliert ist, gar kein Isolationsstrom, sondern nur ein Ladungsstrom auftreten; es würde sich mit anderen Worten ein kurz-

[1]) Siehe S. 153.

andauernder Elektrizitätsfluss bemerkbar machen, der dem Kabel als Kondensator eine entsprechende Ladung zuführte. Würde nun das Kabel durch Anlegen an Erde entladen, so müsste der hierbei in entgegengesetzter Richtung auftretende Entladungsstrom im vorliegenden Falle dem Ladungsstrom an Intensität gleich sein. Da es aber in der Praxis unmöglich ist, ein Kabel mit unendlich grossem Isolationswiderstande herzustellen, so muss ein Teil der zur Ladung des Kabels aufgewendeten Elektrizitätsmenge als Isolationsstrom verloren gehen; es wird nur ein Teil derselben im Kabel als Ladung zurückbleiben und aus diesem Grunde der Entladungsstrom eine geringere Intensität aufweisen, als der Ladungsstrom.

Da nach erfolgter Ladung des Kabels, welche ja ein statischer Vorgang ist, die Elektrizität wieder in einen stationären Ruhezustand versetzt wird, so sind auch die Ladungsströme keineswegs stationärer Natur; sie dauern vielmehr nur kurze Zeit an und ändern innerhalb derselben stets ihre Intensität. Die Dauer des Ladungsstromes und die Art der Veränderung seiner Intensität ist in jedem einzelnen Falle eine andere. Der Ladungsstrom dauert bei langen Kabeln länger und verändert sich langsamer als bei kurzen Kabeln; in allen Fällen ist aber seine Dauer so kurz, dass er auf ein Galvanometer nur als momentaner Stromstoss wirkt.

Es ist leicht einzusehen, dass die Ladung oder die Elektrizitätsmenge, welche ein Kabel aufnimmt, in erster Linie durch die Kapazität des Kabels bedingt wird. Für die Kapazität eines Cylinder-Kondensators, als welcher jedes Kabel zu betrachten ist, gilt folgende Formel:

$$C = \frac{l \,.\, k}{4.6 \log \frac{D}{d}}.$$

In dieser Formel bedeutet k einen von der materiellen Beschaffenheit des Isoliermateriales abhängigen konstanten Faktor, welcher auch Verteilungs-Koëffizient oder Dielektrizitätskonstante genannt wird (siehe S. 91), l die Länge des Kondensators in Centimetern gemessen, D und d den äusseren bezw. den inneren Durchmesser der Isolation bezw. des Dielektrikums.

In zweiter Linie ist die Ladung eines Kabels aber auch von der elektromotorischen Kraft der hierzu verwendeten Batterie abhängig. Je grösser die Kapazität des Kabels und je grösser die zur Ladung aufgewendete elektromotorische Kraft, desto grösser ist auch die vom Kabel aufgenommene Elektrizitätsmenge. Bezeichnet man letztere mit Q und die elektromotorische Kraft mit E, so besteht die Gleichung:

$$Q = E \,.\, C.$$

Setzt man in diese Gleichung den für die Kapazität geltenden Wert ein, so ergiebt sich für die Elektrizitätsmenge, welche ein einseitig isoliertes Kabel durch Ladung mit der elektromotorischen Kraft E aufnimmt,

$$Q = E \frac{l\,k}{4.6 \log \frac{D}{d}}.$$

Die Ladung des Kabels ist also proportional der elektromotorischen Kraft der Batterie, dem Verteilungskoëffizienten des Isoliermateriales und der Länge des Kabels.

Bezüglich der Abhängigkeit der Ladung vom äusseren und inneren Durchmesser der Isolierschicht ist aus der Formel zu entnehmen, dass es, analog der Formel für den Isolationswiderstand, für die Ladung nur auf das Verhältnis der beiden Durchmesser des Kabels und nicht auf ihre absolute Grösse ankommt.

Wählt man also dieses Verhältnis immer gleich, so bleibt auch die Ladung, unter sonst gleichen Umständen, stets die gleiche. Je grösser das Verhältnis der beiden Durchmesser, desto geringer wird die Ladung.

In der Praxis ist die Anwendung der für die Kapazität eines Cylinderkondensators geltenden Formel unbequem, weil dieselbe den Wert für die Kapazität in elektrostatischen Einheiten angiebt und die Länge des Kondensators in Centimetern ausgedrückt werden muss. Man pflegt aber die Länge von Kabeln stets in Kilometern anzugeben und die Kapazität in Mikrofarads zu messen, und daher ist es vorteilhaft, die Formel dementsprechend umzugestalten.

Es ist dann die Kapazität:

$$C = \frac{L\,.\,k}{41.4 \log \frac{D}{d}} \text{ Mikrofarad}$$

und für 1 *km* Kabellänge ist:

$$C = 0.0241 \frac{k}{\log \frac{D}{d}} \text{ Mikrofarad.}$$ [1])

Sowohl die Ladung als auch die Entladung des Kabels benötigt eine gewisse Zeit, welche dem Leitungswiderstande des Kabels und seiner Kapazität direkt proportional ist. Da aber diese beiden Grössen mit der Kabellänge in direktem Verhaltnisse stehen, so ist die Dauer der Ladung bei Vergleichung verschiedener Kabelstücke gleichen Querschnittes dem Quadrate der Kabellänge proportional. Es lässt sich ein ziemlich passender Vergleich zwischen dem Ladungsstrom

[1]) Siehe Prasch-Wietz, Die elektrotechnischen Masse, Leipzig 1895.

und einem Luftstrome anstellen, der durch eine enge Öffnung in ein evakuiertes Gefäss eindringt. Dieser Luftstrom ist im ersten Augenblicke sehr heftig und nimmt in dem Masse, als sich das Gefäss mit Luft füllt, an Stärke ab. Besteht nach Verlauf einiger Zeit zwischen der Spannung der Luft im Gefässe und jener der äusseren, umgeben den Luft nur mehr ein geringer Unterschied, so erfolgt auch das Einströmen der Luft in das Gefäss nur sehr langsam, um endlich, sobald der Luftdruck im Gefässe dem äusseren Luftdrucke gleich geworden ist, gänzlich aufzuhören. Hierbei ist die Quantität der in das Gefäss einströmenden Luft dem Volumen des Gefässes und dem äusseren Luftdrucke proportional. Die Geschwindigkeit des Einströmens hängt von der Weite der Öffnung im Gefässe ab. Beim Passieren der Öffnung erleidet die Luft einen gewissen Reibungswiderstand, welcher der Luftströmung verzögernd entgegentritt.

Denkt man sich an Stelle des evakuierten Gefässes das Kabel,

Fig. 120.

an Stelle des Luftdruckes die elektromotorische Kraft der Batterie, an Stelle des Gefässvolumens die Kapazität und statt des Reibungswiderstandes an der Einströmungsöffnung den Leitungswiderstand des Kabels, so erhält man einen ganz analogen Vorgang.

Bringt man ein solches mit Luft gefülltes Gefäss in einen luftleeren Raum und lässt man daselbst die Luft entweichen, so bildet dies ein Analogon für den Entladungsstrom. Die Luft strömt zuerst rasch, dann immer langsamer und langsamer aus, und eine vollständige Entleerung würde — theoretisch genommen — erst nach Verlauf einer unendlich langen Zeit eintreten, wenn der Raum ausserhalb des Gefässes stets luftleer bliebe. Ebenso muss man ein Kabel, das keine mit den feinsten Instrumenten nachweisbare Elektrizitätsmenge enthalten soll, mindestens eine Stunde lang an Erde legen und kann es erst dann praktisch als entladen betrachten.

Nach diesem vorausgegangenen Vergleiche soll hier auf eine nähere Betrachtung der Vorgänge bei der Ladung eines Kabels eingegangen werden.

In Fig. 120 ist ein Kondensator *C* dargestellt, dessen eine Belegung mit der Erde und dessen andere Belegung durch einen Widerstand *R* bei niedergedrücktem Taster *t* mit einem Pole der Batterie *B* verbunden ist. Der zweite Batteriepol ist behufs Schliessung des Stromkreises mit der Erde in leitende Verbindung gebracht.

Wird nun der Kondensator durch Niederdrücken des Tasters *t* geladen, so hat der Ladungsstrom gleichsam die zur Ladung erforderliche Elektrizitätsmenge nach dem Kondensator zu führen, und es ist hierdurch die Leistung des Ladungsstromes in einer Beziehung bestimmt. Denkt man sich in einem Diagramm den Ladungsstrom dargestellt, indem man die Zeitdauer der Ladung als Abscisse, die Stromstärke als Ordinate aufträgt (Fig. 121), so ist die Quantität der Ladung, d. i. die Elektrizitätsmenge, durch den Inhalt der von der Stromkurve und den beiden Achsen eingeschlossenen Fläche bestimmt. Diese Fläche wird also nach Formel:

$$Q = E \cdot C$$

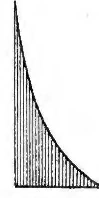


Fig. 121.

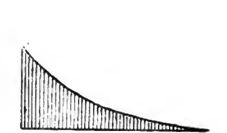


Fig. 122.

durch das Produkt aus der elektromotorischen Kraft der Batterie und der Kapazität des Kondensators gebildet.

Der Verlauf des Ladungsstromes wird aber durch dieses Produkt nicht bestimmt, denn der Ladungsstrom kann bei derselben Kapazität und derselben Batterie sowohl die in Fig. 121 als auch die in Fig. 122 dargestellte Form annehmen; die Flächeninhalte der beiden Diagramme sind ja gleich, aber der Stromverlauf ist ein ganz verschiedener.

In beiden Fällen besitzt wohl der Ladungsstrom im ersten Augenblicke die grösste Intensität, fällt erst rasch, dann immer langsamer und verschwindet allmählich gänzlich, aber sowohl der Anfangswert des Stromes als auch die Geschwindigkeit des Fallens sind verschieden und bilden daher die charakteristischen Merkmale dieser Stromkurve.

Der Anfangswert des Ladungsstromes ist gleich dem Strome, welchen man erhält, wenn man den Kondensator ausschaltet und

die Pole der Batterie unmittelbar durch den Widerstand mit der Erde verbindet. Derselbe ist also nur vom Widerstande im Stromkreise und von der elektromotorischen Kraft der Batterie, nicht aber von der Kapazität des Kondensators abhängig.

Die Geschwindigkeit des Fallens des Ladungsstromes dagegen hängt vom Widerstande des Stromkreises und in gleichem Masse von der Kapazität des Kondensators ab. Je grösser Kapazität und Widerstand, desto langsamer fällt der Ladungsstrom.

In unmittelbarem Zusammenhang damit steht aber auch die Dauer des Ladungsstromes; da nämlich einerseits der Inhalt der von der Stromkurve und den beiden Achsen eingeschlossenen Fläche, anderseits der Anfangswert des Ladungsstromes und die Art seines Abfalles durch die Verhältnisse im Stromkreise gegeben ist, so ist hierdurch auch die Dauer des Stromes bestimmt.

Je grösser der Widerstand und je grösser die Kapazität, desto grösser ist daher die Dauer des Ladungsstromes.

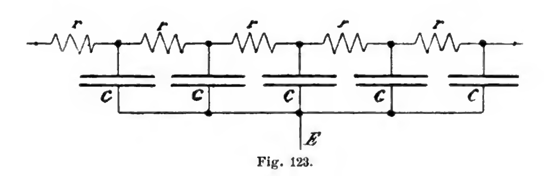


Fig. 123.

Auch bei dem vorher betrachteten evakuierten Gefässe findet man dieselben Beziehungen.

Der Anfangswert des einströmenden Luftstromes hängt ebenfalls nur vom Reibungswiderstande, also von der Weite der Einströmungsöffnung und vom äusseren Luftdrucke, keineswegs aber vom Rauminhalte des Gefässes ab. Je grösser also die Einströmungsöffnung und je grösser der äussere Luftdruck, mit desto grösserer Heftigkeit wird die Luft in das evakuierte Gefäss einzuströmen beginnen.

Die Geschwindigkeit der Abnahme der heftigen Lufteinströmung hängt sowohl von der Weite der Einströmungsöffnung als auch vom Rauminhalte des Gefässes ab. Je grösser der Rauminhalt und je kleiner die Einströmungsöffnung, desto langsamer nimmt die Heftigkeit des Einströmens ab, und desto länger dauert das Einströmen der Luft in das betrachtete Gefäss.

Diese Betrachtung galt nur der Ladung eines Kondensators, dem ein Widerstand vorgeschaltet wurde (Fig. 120). Etwas anders ist die Sache jedoch bei einem Kabel. Denkt man sich ein Kabel in eine beliebige Anzahl gleicher Stücke zerteilt, so besteht jeder

einzelne Teil aus einem Stücke Leitungsdraht mit einem gewissen Widerstande und einem Kondensator. Wollte man also ein künstliches Kabel aus Drahtwiderständen *r* und Kondensatoren *c* herstellen, so müsste dies in der in Fig. 123 angedeuteten Weise vorgenommen werden.

Die mit den Widerständen *r* verbundenen Belegungen entsprächen dann der Oberfläche des Kupferleiters, die unter einander und mit der Erde verbundenen Belegungen der Aussenfläche der Kabelhülle.

Ein Vergleich der in Fig. 120 und 123 getroffenen Anordnungen macht es begreiflich, dass die Ladungserscheinungen am Kabel nicht genau dieselben sind wie bei einem Kondensator, dem ein Widerstand vorgeschaltet wurde, obwohl Widerstand und Kapazität beim Kabel ähnliche Einflüsse auf den Verlauf des Ladungsstromes ausüben wie bei jener in Fig. 120 dargestellten Kombination. Hierbei

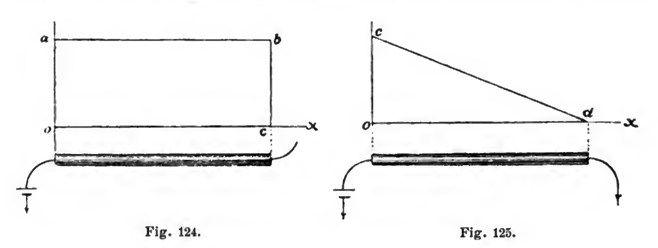


Fig. 124. Fig. 125.

kommt jedoch auch der Widerstand der Batterie, und zwar in manchen Fällen in ganz bedeutendem Masse, in Betracht. Der Batteriewiderstand wirkt gerade so wie ein dem Kabel vorgeschalteter Widerstand.

Es wurde bisher bei der Betrachtung der Ladungserscheinungen stets vorausgesetzt, dass das eine Ende des Kabels isoliert sei, wie dies ja bei den Kapazitätsmessungen der Kabel thatsächlich geschieht. Wenn ein Kabel bereits im Betriebe ist, so ist dies nicht der Fall, sondern es befinden sich da im allgemeinen vor beiden Enden des Kabels Widerstände.

Beim Telegraphen- und Telephonbetriebe befinden sich vor dem Kabelanfange und hinter dem Kabelende stets die Widerstände von Batterien oder sonstigen Stromquellen und von den zum Betriebe notwendigen Apparaten. Auch hier finden Ladungen statt, welche allerdings bedeutend kleiner sind als bei dem an einem Ende isolierten Kabel, da der Zu- und Abfluss der Elektrizität an beiden Kabelenden zugleich stattfinden kann, welche Ladungen sich aber

sowohl beim Telephonbetriebe als auch bei der Kabeltelegraphie in sehr unangenehmer Weise geltend machen.

Bei isoliertem Kabelende ist die elektrische Spannung an allen Stellen des Kabels eine gleiche. Sie kann also durch eine der Abscissenachse parallele Gerade $a\,b$ dargestellt werden (Fig. 124). Die im Kabel gebundene Elektrizitätsmenge wird durch den Inhalt des Rechteckes $a\,b\,c\,o$ bestimmt.

Ist das Ende des Kabels an Erde gelegt, so nimmt die Spannung gegen das Kabelende ab und kann als eine gegen die Abscissenachse geneigte, die Werte der Spannung am Anfange und am Ende des Kabels mit einander verbindende Gerade $c\,d$ (Fig. 125) dargestellt werden. Der Flächeninhalt des Dreieckes $c\,d\,o$ bildet ein Mass für die im Kabel gebundene Elektrizitätsmenge, woraus zu entnehmen ist, dass die Ladung des Kabels, dessen Ende an Erde gelegt ist, die Hälfte der Ladung eines Kabels mit isoliertem Ende unter sonst gleichen Umständen beträgt.

Ist das Kabelende isoliert, so kann sowohl die Ladung als auch die Entladung nur vom Kabelanfange aus bewerkstelligt werden. Der Entladungsstrom wird also in diesem Falle in der ganzen Länge des Kabels dem Ladungsstrom entgegengesetzt gerichtet sein.

Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn das Ende des Kabels mit der Erde in leitender Verbindung steht. Die Ladung des Kabels wird allerdings auch wieder von der Stromquelle ausgehen, also beim Kabelanfang eintreten; die Entladung dagegen erfolgt nach beiden Seiten hin, sowohl gegen den Anfang als auch gegen das Ende des Kabels, und aus diesem Grunde ist der Entladungsstrom am Kabelanfange dem Ladungsstrom entgegengesetzt, am Kabelende hingegen gleich gerichtet.

Die Stromverhältnisse.

Die Eigenschaft der Kabel, grosse elektrische Ladungen in sich aufzunehmen, unterscheidet dieselben wesentlich von oberirdisch geführten blanken Leitungen. Letztere besitzen allerdings auch ein gewisses Mass von Ladungskapazität, allein dieses ist so gering, dass es bei den meisten in der Praxis des Betriebes stattfindenden elektrischen Vorgängen beinahe immer ohne Bedeutung bleibt. Infolge dieses Unterschiedes nehmen die Stromerscheinungen im Kabel, im Vergleiche zu der oberirdischen Leitung, sowohl in Bezug auf den zeitlichen Verlauf als auf die Intensität der Ströme eine vollständig veränderte Gestalt an.

Die in einem Drahte, welcher keine oder nur sehr geringe Kapazität besitzt, auftretenden Stromerscheinungen sind sehr einfach.

Wird ein kapazitätloser Draht in Betracht gezogen, der an einem Ende isoliert und dessen anderes Ende an eine mit Erde verbundene Batterie gelegt wird, so kann ein Strom in demselben überhaupt nicht auftreten. — Ist dagegen dieser Draht an beiden Enden mit den Polen der Batterie verbunden und auf diese Weise ein geschlossener Stromkreis hergestellt, so besitzt der in den Draht entsendete elektrische Strom an allen Punkten gleiche Intensität, und alle etwa vorkommenden Veränderungen treten überall gleichzeitig auf.

Bei einem Kabel aber, welches stets eine in Betracht kommende Kapazität aufzuweisen hat, können, wenn das eine Ende desselben isoliert ist, im Gegensatze zum vorigen Falle, Ströme entstehen — es sind dies die bereits bekannten Ladungsströme. In einem geschlossenen Kabelstromkreise ist die Stromintensität im allgemeinen an jeder Stelle eine andere, und Veränderungen derselben können in jedem Kabelabschnitte zu einer anderen Zeit beobachtet werden.

Wird in einen frei ausgespannten blanken Draht, dessen entferntes Ende durch irgend einen Widerstand mit der Erde verbunden ist, ein Stromimpuls entsendet, und ist dieser Draht an seinen Aufhängepunkten gegen Erde gut isoliert, so tritt der Strom sofort an allen Punkten der Leitung in einer kaum messbaren, ausserordentlich kleinen Zeit, also beinahe gleichzeitig, und zwar in voller Stärke auf, und die Elektrizität, die am Anfange in den Draht eintritt, kann bei ihrem Austritte am Ende des Drahtes auch vollinhaltlich nachgewiesen werden.

Ganz anders gestaltet sich ein solcher Vorgang beim Kabel.

Bildet man aus einzelnen Kabelstücken eine längere Leitung und schaltet zwischen je zwei Kabelstücken ein Instrument ein, welches die Stromstärke anzeigt, so findet man, dass der am Anfang in die Leitung entsendete Strom von den eingeschalteten Instrumenten nicht gleichzeitig und nicht gleich stark angezeigt wird. Es vergeht vielmehr erstens eine noch messbare Zeit, bis der Strom von einem Instrumente zum andern gelangt, und zweitens zeigen die Instrumente den Strom um so schwächer an, je näher sie dem Ende der Leitung gelegen sind.

In dieser Erscheinung offenbart sich die Verzögerung und Schwächung des Stromes im Kabel.

Stromverzögerung und Stromschwächung treten im Kabel unter allen Umständen auf, möge mit demselben was immer für eine Schaltung vorgenommen werden; jedoch hängt die Art der Verzögerung und Schwächung eines Kabelstromes von den in jedem einzelnen Falle herrschenden Verhältnissen ab und kann dieselbe

bei einem und demselben Kabel, aber bei verschiedenen Stromvorgängen, sehr verschieden ausfallen.

Die Schwächung des Stromes im Kabel ist leicht einzusehen. Wenn aus dem Kabel, bevor das eine Ende desselben an die Batterie gelegt wurde, jede Ladung entfernt worden ist, so geht ein Teil der Elektrizität, die durch das Anlegen der Batterie in dasselbe eintritt, schon deshalb verloren, weil infolge der Ladung des Kabels in jedem einzelnen Kabelelemente Elektrizität zurückbleibt, und die weiterströmende Elektrizitätsmenge wird immer geringer. Es muss also der am Kabelanfange eintretende Strom mit der Entfernung vom Kabelanfange abnehmen.

Wenn das Kabel vor dem Eintritte des Stromes bereits geladen ist, so treten im allgemeinen dieselben Stromerscheinungen auf. Eine Elektrizitätsbewegung oder ein elektrischer Strom kommt ja nur dann zu Stande, wenn im Leiter, in welchem sich die Elektrizität fortbewegen soll, eine Spannungs-Differenz herrscht. Je grösser diese Spannungsdifferenz, desto grösser die Stromintensität. Die absoluten Werte der Spannungen spielen dabei gar keine Rolle. Die Ladung im Kabel wird aber stets an allen Stellen eine gleiche Spannung annehmen; es wird sich also die Elektrizität im geladenen Kabel vor dem Anlegen der Batterie in einem stationären Zustand der Ruhe befinden und überall denselben Spannungswert besitzen. Wird nun der Kabelanfang mit einem Batteriepol verbunden, der eine andere Spannung besitzt als jene, welche im Kabel herrscht, so bleiben die Stromverhältnisse genau dieselben, wie wenn das Kabel vorher gar nicht geladen gewesen wäre. Die Spannungen im Kabel werden sich wieder auszugleichen suchen, ein Teil der Elektrizität wird gebunden und es muss in diesem Falle abermals eine Stromschwächung eintreten.

Die Ursache der Verzögerung des Kabelstromes ist wie seine Schwächung zum grossen Teile in der Ladung gelegen.

Die Elektrizität pflanzt sich nicht augenblicklich fort, sondern ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist nahezu dieselbe wie jene des Lichtes, das sind 300 000 *km* per Sekunde. Es findet also wohl schon aus diesem Grunde eine Verzögerung statt; diese ist aber so gering, dass sie durch unsere Sinne gar nicht mehr wahrgenommen werden kann. Für ein atlantisches Kabel wurde die aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität berechnete Verzögerung mit etwa 0.015 Sekunden festgestellt, während sie aber thatsächlich viel bedeutender ist.

Einen weit grösseren Einfluss auf die Geschwindigkeit der Elektrizität im Kabel hat aber, wie schon bemerkt wurde, die Ladung. Weil das Kabel ein Kondensator ist, so muss sich infolge

der an der Innenfläche der Isolierhülle angesammelten Elektrizität an der Aussenfläche entgegengesetzte Elektrizität anhäufen, welche die durch das Kabel hindurchströmende Elektrizität anzieht. Diese Anziehung bewirkt nicht nur ein Festhalten der im Kabel strömenden Elektrizität, also eine Schwächung des Stromes, sondern auch eine Verzögerung der Elektrizitätsbewegung.

Bei dieser Betrachtung über die Schwächung und Verzögerung der Kabelströme wurde vorausgesetzt, dass das Kabel einen unendlich grossen Isolationswiderstand besässe, was ja in der Praxis ganz unmöglich ist. Durch den Isolationsstrom geht aber in jedem Kabelelemente ebenfalls ein Teil der Elektrizität verloren, welcher Umstand nur noch mehr zur Schwächung des Kabelstromes beiträgt.

Vergleicht man die Elektrizitätsbewegung im Kabel mit der Bewegung einer Luftsäule, die in einer porösen Röhre eingeschlossen ist, so findet man analoge Vorgänge.

Verbindet man eine poröse Röhre durch Öffnen eines Hahnes mit einem Reservoir, in welchem sich komprimierte Luft befindet, so wird letztere in die Röhre überströmen. Von der in die Röhre einströmenden Luft passiert ein Teil die ganze Röhre, ein Teil strömt durch die poröse Wand ab und ein dritter Teil wird von der porösen Wand aufgesogen und festgehalten.

Verbindet man die Röhre nur kurze Zeit mit dem Reservoire und führt ihr sozusagen nur einen Luftstoss zu, so entsteht am Rohranfange eine Luftverdichtung, die nach Art einer Schallwelle die Röhre passiert und in sehr geschwächtem Zustande das Ende derselben erreicht.

Auch in isolierten Leitungen, welchen nur einzelne Stromstösse zugeführt werden, entstehen an der Stromeintrittstelle Spannungszustände, Elektrizitätsverdichtungen, welche sich nach Art von Wellen durch die ganze isolierte Leitung fortpflanzen und in sehr geschwächtem Zustande am Ende ankommen.

Die Erscheinung der elektrischen Wellen bildet nicht nur den wissenschaftlich interessantesten Teil der elektrischen Vorgänge im Kabel, sondern sie ist auch für die Theorie des Kabelbetriebes von besonderem Interesse, und es wird dieselbe in weiterer Folge einer näheren Betrachtung unterzogen.

Zunächst handelt es sich hier jedoch um eine eingehendere Behandlung des elektrischen Zustandes eines Kabels in allen seinen Teilen, wenn der Kabelanfang mit der Batterie, das Kabelende mit der Erde verbunden ist.

Nimmt man an, dass das Kabel vor dem Anlegen der Batterie keinerlei elektrische Ladung enthält, so ist die Spannung im ganzen Kabel gleich Null.

Legt man nun den Kabelanfang an einen Batteriepol, so wird daselbst die Spannung im ersten Augenblicke plötzlich ebenso gross wie jene des Batteriepoles, während in den übrigen Teilen des Kabels die Spannung noch einen sehr geringen Wert erreicht hat. Die Spannung am Ende des Kabels, welches an Erde gelegt ist, bleibt stets gleich Null und jene am Kabelanfange, so lange das Kabel mit der Batterie verbunden ist, stets gleich der Spannung des Batteriepoles. Die Spannung nimmt nun in den folgenden Zeitabschnitten innerhalb des Kabels vom Anfange gegen das Ende immer mehr zu, anfangs rasch, dann immer langsamer, bis sie

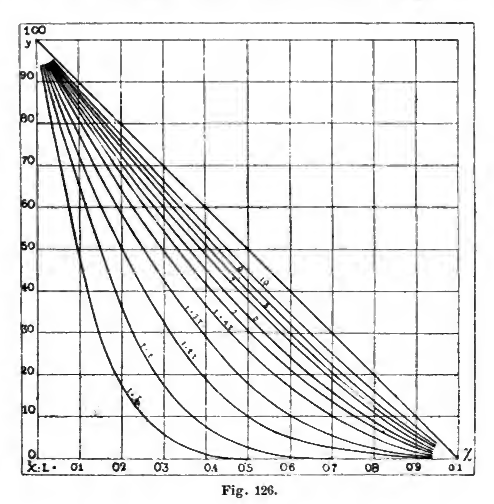


Fig. 126.

endlich — theoretisch genommen — in unendlich langer Zeit, wenn alle Teile des Kabels sich vollständig mit Elektrizität geladen haben, in einen stationären Zustand übergeht, in welchem sich das Spannungsgefälle durch eine gerade Linie darstellen lässt. Wenn dieser Zustand eingetreten ist, wird von der am Kabelanfange eintretenden Elektrizität nichts mehr zur Ladung des Kabels verwendet, sondern es fliesst am Kabelende ebenso viel Elektrizität ab, als dem Kabelanfange zugeführt wurde.

In Fig. 126 ist die Verteilung der Spannung im Kabel in verschiedenen Zeitabschnitten dargestellt. Auf der Abscissen-Achse ist

die Kabellänge $OX = L$ aufgetragen; die Ordinaten stellen die Spannungswerte dar, wobei die Ordinate oy der Spannung des Batteriepoles oder des Kabelanfangs entspricht und gleich 100 angenommen wurde. Die einzelnen Kurven entsprechen den Spannungen in verschiedenen Zeitpunkten, und zwar nach den Zeiten $\frac{\tau}{2}$, τ, 2τ, 3τ . . 10τ. Erst nach unendlich langer Zeit stellt sich der Grenzzustand her, und die Spannungskurve geht in die gerade Linie xy über.

Beim praktischen Kabelbetriebe sind jedoch nicht immer die

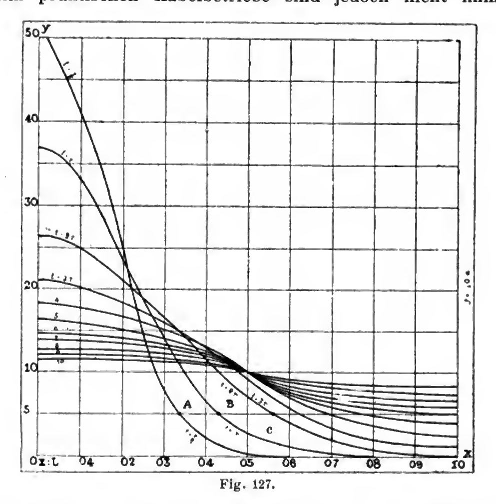


Fig. 127.

Spannungsverhältnisse, sondern beispielsweise bei der Kabeltelegraphie in erster Linie die Stromverhältnisse massgebend.

In ähnlicher Weise wie die Spannungskurven sind auch die in Fig. 127 dargestellten Stromintensitätskurven entstanden. Diese Kurven zeigen die Verteilung der Stromstärke im Kabel zu verschiedenen Zeiten. Die Längen sind hier wieder auf der Abscissenachse, dagegen auf der Ordinatenachse die Stromstärke a aufgetragen. Die Entfernung der horizontalen Linie 10 entspricht der im Endpunkte des Kabels entstehenden Maximalintensität 10 a. Die Stromkurven sind für die Zeitintervalle $\frac{\tau}{2}$, τ, 2τ, 3τ . . 10τ gezeichnet.

Anfangs, kurz nach dem Anlegen der Batterie, zeigt die Stromkurve $\frac{\tau}{2}$ am Anfang des Kabels sehr hohe Werte, wogegen in der Mitte des Kabels ($x : L = 0.5$) die Stromintensität noch kaum merklich ist. Erst die Stromkurve τ zeigt am Kabelende eine Stromintensität, welche den achthundertsten Teil ihres Maximalwertes beträgt, während sie am Kabelanfange mehr als $3\,^1/_2$ mal so gross ist als $10\,a$. Die Horizontale 5 schneidet die ersten drei Stromkurven in den Punkten A, B und C. Würde man an diesen Punkten das Kabel durchschneiden und Empfangs-Instrumente einfügen, welche bei der Stromstärke $5\,a$ ansprechen, so würde nach der Zeit $\frac{\tau}{2}$ der Apparat in A, nach der Zeit τ jener in B und nach der Zeit $2\,\tau$ der Apparat in C ein Zeichen geben, woraus die Art der Verzögerung unabhängig von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität ebenfalls zu ersehen ist.

Die Stromkurven fallen in den ersten Zeitabschnitten nach dem Anlegen der Batterie vom Kabelanfange aus sehr rasch ab, und in den entfernteren Teilen und am Ende des Kabels zeigt sich ein kaum merklicher Strom. Je länger der Strom fliesst, desto mehr gleicht sich seine Intensität in der ganzen Länge des Kabels aus, und mit zunehmender Zeit nähern sich die Stromkurven an beiden Enden immer mehr der Horizontalen $10\,a$, welche der stationären Stromstärke im ganzen Kabel und zugleich der Maximalintensität am Ende des Kabels entspricht. Im praktischen Kabelbetriebe kann das Eintreten dieses stationären Zustandes, welches theoretisch erst nach unendlich langer Zeit geschieht, nicht abgewartet werden, denn für die Empfangs-Instrumente genügt es, wenn der am Kabelende austretende Strom seiner Maximalintensität nur nahe kommt, und dies kann schon nach ziemlich kurzer Zeit erreicht werden, da die Grösse τ, in welcher die Zeiten hier gemessen sind, gewöhnlich nicht grösser als ein kleiner Bruchteil einer Sekunde ist.

Diese Stromkurven haben endlich die Eigenschaft, dass das Mittel der zu irgend einer Zeit im Kabel vorhandenen Stromstärken stets der stationären Stromstärke gleich ist, oder mit anderen Worten, dass die Summe der im ganzen Kabel in Bewegung befindlichen Elektrizitätsmengen zu allen Zeiten gleich ist.

Eine andere Form erhalten die Stromkurven, wenn man den zeitlichen Verlauf des Stromes an verschiedenen Punkten des Kabels darstellt. Hierbei werden auf der Abscissenachse die Zeiten, auf der Ordinatenachse die Stromstärken aufgetragen. Denkt man sich nun das Kabel in 10 gleiche Teile geteilt und die Änderung

der Stromintensität für jene Punkte des Kabels graphisch dargestellt, welche in 0.1, 0.2, 0.3 . . 1.0 der Länge des Kabels gelegen sind, so erhält man für die ganze Dauer der Elektrisierung die in Fig. 128 dargestellten Kurven.

Hier zeigt sich deutlich, dass die Stromkurven beinahe in der ganzen ersten Hälfte des Kabels gleichsam einen Höcker besitzen, der über die Linie 100 der stationären Stromstärke hinausreicht, dass aber dieser Höcker bei den Stromkurven in der Mitte und in der zweiten Hälfte des Kabels verschwunden ist. Der Übergang der Kurven einer Form in die andere findet zwischen 0.4 und

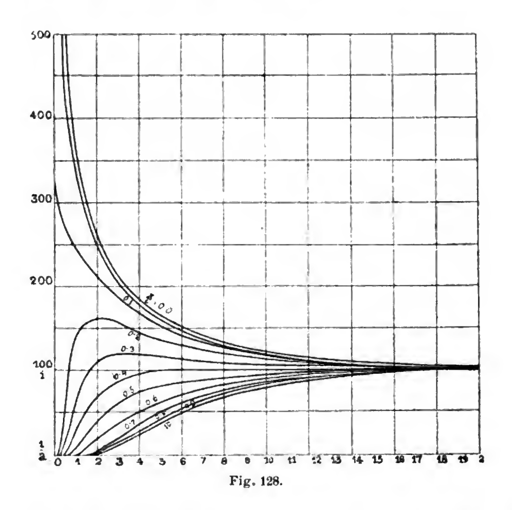


Fig. 128.

0.5 der Länge des Kabels statt; sodann verflachen sich die Kurven allmählich bis zur letzten für den Endpunkt des Kabels geltenden Kurve. Diese letzte in der Fig. 128 mit 1.0 bezeichnete Kurve hat für den Kabelbetrieb die grösste Bedeutung, denn sie zeigt an, in welchem Masse der durch das Kabel geschickte Strom den Empfangs-Instrumenten zugeführt wird, und wird die Kurve des ansteigenden Stromes genannt. Die Gestalt dieser Kurve ist daher von ganz besonderem Interesse. Sie beginnt im Anfangspunkte 0, besitzt aber im Anfang nur sehr geringe Höhe und unmerkliche Steigerung; dann erhebt sie sich ziemlich rasch, bis der Strom ungefähr den

dritten Teil seines Maximalwertes am Ende des Kabels erreicht hat. Hier tritt dann ein Wendepunkt ein; während nämlich bisher die Steilheit der Kurve immer mehr zugenommen, nimmt sie von diesem Punkte an immer mehr ab; die anfangs gegen die Abscissenachse konvexe Form geht allmählich in eine konkave Form über. Es sind also an dieser Kurve drei Teile zu unterscheiden: der Anfang vom Nullpunkte bis zum Beginn der steilen Erhebung, das steile Ansteigen und der allmähliche Übergang in den stationären Strom. Die Grenze zwischen dem zweiten und dritten Teile dieser Kurve bildet der Wendepunkt, bei welchem der konvexe in den konkaven Teil übergeht.

Schaltet man am Ende des Kabels ein empfindliches Instrument, beispielsweise ein Spiegelgalvanometer ein, so wird dasselbe, da seine Empfindlichkeit ja auch eine Grenze hat, sich anfangs beim ersten Entstehen des Stromes ganz indifferent verhalten, als wenn gar kein Strom vorhanden wäre. Steigt aber der Strom bis zu jener Intensität, welche der Empfindlichkeit des Instrumentes entspricht, so genügt dies, um am Galvanometer einen erst ganz kleinen Ausschlag zu bewirken, welcher so lange wächst, bis der Strom seinen stationären Wert erreicht hat. Immerhin bedarf es aber einiger Zeit, bis das Galvanometer überhaupt anspricht, und diese Zeit nennt man die Verzögerung. Je empfindlicher das Empfangs-Instrument, desto geringer ist unter sonst gleichen Umständen die Verzögerung. Die Zeit, welche vergeht, bis der Strom seinen stationären Wert erreicht hat, bis also das Kabel überall gleich stark und nahezu vollständig geladen ist, nennt man die Ladungszeit. Die Ladungszeit ist aber nichts anderes als die Dauer des Ladungsstromes; da nun letztere von den elektrischen Eigenschaften des Kabels abhängig ist, so muss auch die Kurve des ansteigenden Stromes mit diesen Eigenschaften in inniger Beziehung stehen. Die Dauer des Ladungsstromes ist aber weiter durch die Länge des Kabels bedingt, was wieder zur Folge hat, dass die Gestalt der Kurve des ansteigenden Stromes auch mit der Länge des Kabels in Zusammenhang steht. Es finden also wohl bei allen Kabeln dieselben elektrischen Erscheinungen statt; die Spannungs- und die Stromkurven werden alle einander ähnlich sein, aber die Zeiträume, in welchen sich diese Erscheinungen abspielen, müssen nach dem Vorausgegangenen andere sein, aus welchem Grunde diese Kurven bei verschiedenen Kabeln Verschiedenheiten in ihrer Form aufweisen müssen.

Bei der Erörterung der Ladungserscheinungen wurde bereits hervorgehoben, dass der Ladungsstrom dem Widerstande und der Kapazität des Kabels direkt proportional ist. Wenn man nun

weiter erwägt, in welchem Verhältnisse der Ladungsstrom zur Spannung und zur stationären Stromstärke im Kabel steht, so lässt sich leicht der Schluss ziehen, dass die Zeiten, bei welchen in verschiedenen Kabeln an den Kabelenden oder an korrespondierenden Kabelstellen dieselben Spannungen und Stromstärken eintreten, sich wie die Produkte aus Widerstand und Kapazität verhalten.

Die Giltigkeit dieses Satzes erstreckt sich nicht nur auf mehrere Kabel von verschiedener Konstruktion oder verschiedener Länge, sondern natürlich auch auf verschiedene Längen desselben Kabels. In diesem Falle verhalten sich sowohl die Widerstände als auch die Kapazitäten zweier Längen wie diese Längen selbst, also die Produkte aus Widerstand und Kapazität wie die Quadrate

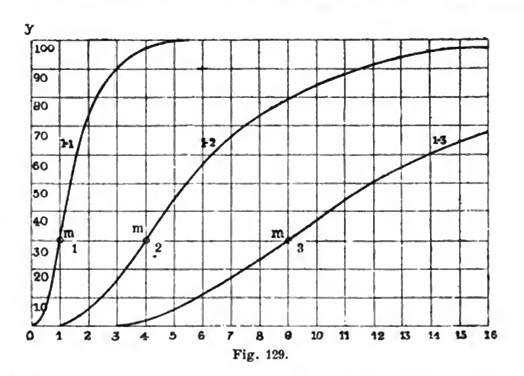


Fig. 129.

der Längen. Für verschiedene Längen ganz gleich konstruierter Kabel lässt sich der vorige Satz folgendermassen formulieren:

Die Zeiten, bei welchen in gleichen Kabeln verschiedener Länge an den Kabelenden oder an korrespondierenden Kabelstellen dieselben Spannungen und Stromstärken eintreten, verhalten sich wie die Quadrate der Längen.

Diese Sätze haben selbstverständlich nur Giltigkeit, wenn Spannung und Stromstärke der Batterien an den verglichenen Stellen gleich sind. Ist dies nicht der Fall, so sind auch die Spannungen und Stromstärken zu den im Verhältnisse der Produkte Widerstand und Kapazität stehenden Zeiten nicht gleich, sondern sie verhalten sich wie die bezüglichen Spannungen und Stromstärken der Batterie.

Fig. 129 zeigt die Gestalt der Kurven des ansteigenden Stromes

für drei Kabel, deren Längen sich wie 1 : 2 : 3, deren Produkte aus Widerstand und Kapazität sich also wie 1 : 4 : 9 verhalten.

Die an der Ordinatenachse o y befindlichen Zahlen 10 bis 100 bedeuten Produkte der stationären Stromstärke. An der Abscissenachse sind 16 gleiche Zeitelemente aufgetragen. Legt man durch diese Kurven irgendwo eine der Abscissenachse parallele Gerade, welche die Kurven beispielsweise in den Punkten m_1, m_2 und m_3 schneidet, so geben die Abscissen dieser Punkte die verschiedenen Zeiten an, zu welchen in den drei Kabeln die Stromstärke dieselbe ist. Diese Punkte entsprechen im vorliegenden Falle einer Stromstärke von 30 % des stationären Stromes, welche im ersten Kabel

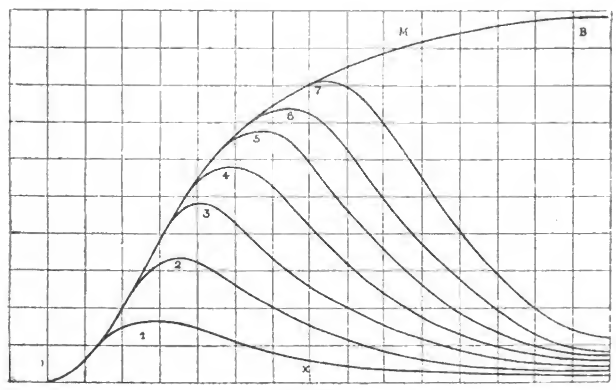


Fig. 130.

nach 1, im zweiten Kabel nach 4 und im dritten Kabel nach 9 Zeitintervallen erreicht wird.

Verwendet man in allen drei Fällen gleiche Empfangsinstrumente, die bei 30 % der Gesamtstromstärke ansprechen, so wird am zweiten Kabel die Zeit, welche ein telegraphisches Zeichen braucht, 4 mal, am dritten Kabel 9 mal so gross sein wie am ersten.

In der praktischen Kabeltelegraphie lässt man die Stromstärke nie bis zu ihrer vollen Höhe anwachsen, da dies einen zu grossen Zeitaufwand erfordern würde, sondern man unterbricht schon früher die Verbindung mit der Batterie und leitet den Anfangspunkt des Kabels zur Erde ab. Es strömt dann die in der Kabelhülle aufgespeicherte Elektrizität, wie bereits auf Seite 171 erwähnt wurde,

nach beiden Seiten zur Erde ab, und die Entladung erfolgt in weit geringerer Zeit. In Fig. 130 stellen die Kurve OMB die Kurve des ansteigenden Stromes und die mit 1 — 7 bezeichneten Kurven den Stromverlauf im Kabelende dar, wenn der Anfangspunkt durch die Zeit τ, 2τ, 3τ . . 7τ mit der Batterie verbunden und dann zur Erde abgeleitet wird.

Die Entladung eines Kabels lässt sich auch noch auf andere Weise bedeutend beschleunigen, und zwar wenn man das Kabel anstatt mit Erde mit einer Elektrizitätsquelle verbindet, die eine schon vorhandene entgegengesetzte Ladung herbeizuführen strebt. Schon Varley hat gezeigt, dass sich mit alternierenden Stromrichtungen weit rascher telegraphieren lässt als bei ausschliesslicher

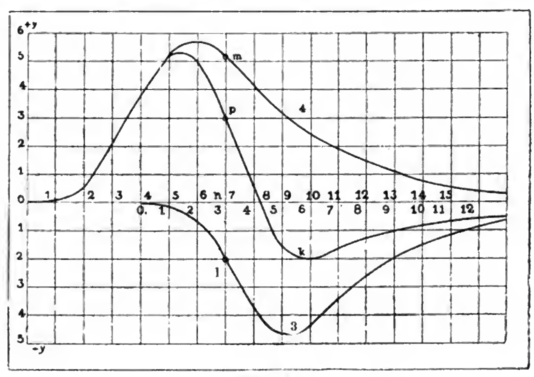


Fig. 131.

Verwendung einer und derselben Stromrichtung. Die in Fig. 131 dargestellte Stromkurve K entsteht, wenn man das Kabel durch die Zeit 4τ an den positiven Pol, darauf während der Zeit 3τ an den negativen Pol derselben Batterie anlegt und schliesslich zur Erde ableitet. Diese Stromkurve erhält man aus den beiden in Fig. 131 gegebenen Kurven 4 und 3, wenn man dieselben mit Berücksichtigung der Zeitdifferenz $O O_1 = 4\tau$ in entgegengesetzten Lagen in ein und dasselbe Koordinatensystem einzeichnet und die Ordinaten der beiden Kurven subtrahiert. So ist z. B. $pn = mn - nl$ und man muss, um den Punkt p zu finden, die Strecke $nl = mp$ von m nach abwärts auftragen.

Verändert man successive die elektromotorische Kraft der Batterie, so kann man der Stromkurve jede beliebige Gestalt erteilen.

Eine bemerkenswerte Form derselben ist die Sinuslinie. Die geometrische Entstehungsweise dieser Kurve ist folgende: Der Punkt O (Fig. 132) bewegt sich in der Richtung OX mit gleichförmiger Geschwindigkeit, welch letztere der parallel zu OY gerichteten Geschwindigkeits-Komponente eines Punktes a gleichkommt, der sich im Kreise O gleichförmig bewegt. Derartige Sinuswellen treten beispielsweise in den Telephonleitungen auf. Die Stromwelle passiert dann mit gleichförmiger Geschwindigkeit das ganze Kabel; sie ist eine reguläre elektrische Welle, deren Fortpflanzungs-Geschwindigkeit dem Produkte $L \sqrt{R C}$ verkehrt proportional ist, wobei L die Kabellänge, R den Widerstand und C die Kapazität bedeutet.

Nach den Untersuchungen von Siemens ist die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der elektrischen Wellen in Kabeln um so grösser, je rascher dieselben auf einander folgen. Die Intensität der Wellen

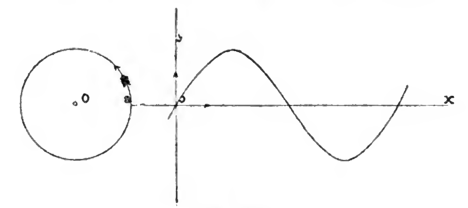


Fig. 132.

nimmt in geometrischer Progression ab, wenn die Länge des Kabels nach einer arithmetischen Progression wächst; sie ist also bei doppelter Kabellänge 4 mal, bei dreifacher Kabellänge 9 mal kleiner. Für die Erdkabel des Deutschen Reiches beträgt die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der elektrischen Wellen 8400 *km*, wenn in der Sekunde sechs Wellen erzeugt werden. Die Wellenlänge ist somit 1400 *km*.

Es wurde bereits früher auf die Analogie hingewiesen, welche zwischen der Elektrizitätsbewegung in einer isolierten Leitung und der Luftbewegung in einer porösen Röhre herrscht, und thatsächlich lässt die Fortpflanzung elektrischer Wellen einen direkten Vergleich der Elektrizität mit Schall, Licht und Wärme zu.

Die Ursache des Schalles besteht in Verdichtungs- und Verdünnungswellen, welche in der Luft oder in anderen elastischen Körpern auftreten und sich ohne Rücksicht darauf, ob die Wellen stark oder schwach erregt werden und ob die Schwingungen schnell

oder langsam auf einander folgen, mit konstanter Geschwindigkeit fortpflanzen.

Dasselbe gilt von den Ätherschwingungen, aus denen das Licht entsteht. Auch hier herrscht im selben Medium dieselbe Fortpflanzungs-Geschwindigkeit für sämtliche Schwingungen, und die Schnelligkeit der Schwingungen hat auf die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit keinen Einfluss.

Die Wärmewellen pflanzen sich zwar ebenfalls in gleichen Zeiten um gleiche Strecken fort, aber die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Wärmewellen ist um so grösser, je rascher dieselben auf einander folgen. Ihre Schwächung erfolgt mit ihrer Fortpflanzung nach einer geometrischen Progression.

Die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der elektrischen Wellen in blanken Leitungen lässt sich, wie vielfache Versuche nachgewiesen haben, weder von der Periodenzahl noch von der Stärke der Schwingungen beeinflussen. Sie ist so gross, dass die Zeit zwischen Abgang und Ankunft der Wellen nicht mehr gemessen werden konnte, und der Strom scheint daher in jedem Augenblicke an allen Stellen der Leitung derselbe zu sein. Daraus folgt, dass die elektrischen Wellen in einer nahezu kapazitätslosen Leitung sich so verhalten wie die Licht- oder Schallwellen, die elektrischen Wellen in einem Kabel dagegen den Wärmewellen am ähnlichsten sind.

Unter den in einem Kabel auftretenden Stromerscheinungen sind schliesslich noch die Induktionserscheinungen hervorzuheben.

Wenn zwei oder mehrere Kabel entweder dicht neben einander oder in geringer Entfernung verlegt sind, so werden durch die Ströme in der Leitung des einen Kabels Induktionsströme in der Leitung des anderen Kabels erregt.

Ausserdem wirkt auch die Ladung der einen Kabelhülle verteilend auf die danebenliegende ein, wodurch in der letzteren entgegengesetzte Elektrizität gebunden und ihr eine sekundäre Ladung erteilt wird.

Dieselben Erscheinungen finden natürlich in noch viel grösserem Masse in einem und demselben Kabel mit mehreren Leitungen statt.

Bilden zwei neben einander liegende Leitungen jede für sich einen geschlossenen Stromkreis, so wird, sobald in der primären Leitung ein Strom entsteht, in der sekundären Leitung ein dem primären Strome entgegengesetzt gerichteter Sekundärstrom induziert. Dieser Sekundärstrom dauert aber nur so lange an, als die Intensität des primären Stromes zunimmt, und wird sofort verschwinden, wenn die Intensität des primären Stromes eine konstante geworden ist.

Beim Vergehen des primären Stromes tritt in der sekundären Leitung abermals ein Induktionsstrom auf, welcher aber in diesem

Falle dem primären Strome gleichgerichtet ist, und verschwindet, wenn die Intensität des primären Stromes Null geworden.

Die Intensität des sekundären Stromes ist der Intensität des primären Stromes direkt, dem Widerstande des sekundären Drahtes indirekt proportional.

Wenn die zwei neben einander liegenden Leitungen keine geschlossenen Stromkreise bilden, so kann unter Umständen trotzdem in der einen Leitung Elektrizität nachgewiesen werden, wenn in der benachbarten Leitung ein Strom zirkuliert, und zwar infolge der sekundären Ladung. Diese sekundäre Ladung muss stets auftreten, wenn mehrere Kabeladern dicht neben einander liegen und die Oberflächen der isolierenden Hüllen der Adern nicht völlig mit Feuchtigkeit überzogen sind. Wird eine dieser Adern geladen, so erzeugt diese Ladung in allen Leitern, die jenseits der die geladene Ader umgebenden Isolierung sich befinden, eine Gegenladung.

Die sekundäre Ladung ist proportional der primären Ladung, daher auch proportional der elektromotorischen Kraft der Batterie, der Länge der beiden Leitungen und der Ladungskapazität der Längeneinheit einer Leitung.

Die sekundäre Ladung zwischen zwei benachbarten Kabeladern kann dadurch vernichtet werden, dass man die Oberfläche der Isolierung leitend macht und mit der Erde verbindet.

Die Induktionserscheinungen, mögen sie nun auf Volta-Induktion oder auf sekundärer Ladung beruhen, machen sich überall dort sehr unangenehm bemerkbar, wo man es in den Kabeln mit pulsierenden Strömen oder mit Wechselströmen zu thun hat, und man ist genötigt, alle möglichen Vorsichtsmassregeln zu treffen, um diese schädlichen Einflüsse der Leitungen auf einander möglichst auf ein Minimum zu reduzieren.

II.

Die elektrischen Messungen.

Allgemeines.

In dem Masse als die Anforderungen, die an elektrische Kabel gestellt werden, gestiegen sind, hat sich auch die Messtechnik bis zu ihrer gegenwärtigen hohen Stufe entwickelt. Zur Zeit der ersten submarinen Kabellegungen hat man sich damit begnügt, sich von der Kontinuität der Leitung zu überzeugen, obwohl schon damals W. Siemens die Messung der Leitungsfähigkeit der Kupferadern und die Messung des Leitungs- und des Isolationswiderstandes der Kabel

sowohl während der Fabrikation als auch während der Legung für unumgänglich notwendig hielt und in den günstigen Ergebnissen dieser Untersuchungen eine Gewähr für die Korrespondenzfähigkeit und die Lebensdauer der Kabel erblickt hatte. Als nun die Ladungserscheinungen, die in den Kabeln auftreten, bekannt wurden, musste auch die Ladungskapazität, namentlich bei der Herstellung von langen submarinen Kabeln und von Telephonkabeln, in die Reihe der zu untersuchenden Konstanten mit einbezogen werden. Als man weiter in der Starkstromtechnik Kabel verlangte, welche sehr hohe Spannungen ertragen sollten, reichten die elektrischen Prüfungen solcher Kabel mit den gebräuchlichen Batterieströmen nicht mehr aus, und man musste sich entschliessen, diese Hochspannungskabel gleichfalls mittels hochgespannter Ströme auf ihre Isolierfähigkeit zu untersuchen.

Schliesslich sind es noch die elektrischen Fehlerbestimmungen, welche in der Kabeltechnik heute bereits zu grosser Bedeutung gelangt sind. Wird nämlich bei einer Kabelader durch die elektrische Messung ein Fehler konstatiert und infolgedessen das Kabel als untauglich oder zum mindesten mangelhaft befunden, so würde dies entweder für den Fabrikanten oder für den Besitzer des Kabels unter Umständen einen empfindlichen materiellen Schaden bedeuten, wenn man nicht in der Lage wäre, die Fehlerstelle auf elektrischem Wege aufzufinden und sodann den Fehler auf leichte Weise zu beseitigen.

Um alle diese elektrischen Untersuchungen in unzweifelhaft richtiger Weise auszuführen und bei der Wahl der Methode stets das Beste zu treffen, bedarf es vor allem anderen einer genauen Kenntnis der elektrischen Vorgänge in Kabeln und ihrer Symptome sowie einer gründlichen Kenntnis der Eigentümlichkeiten der verschiedenen Isoliermaterialien, denn in vielen Fällen ist nur eine reiche Erfahrung und nicht das Resultat der letzten Messung für die richtige Beurteilung einer Kabelader von massgebendem Einflusse.

Der Zeitpunkt, wann die elektrischen Messungen der Kabeladern während der Fabrikation vorzunehmen sind, muss ganz der Einsicht des Fabrikanten überlassen bleiben, denn es ist ja in seinem eigenen Interesse gelegen, sich während der einzelnen Fabrikationsphasen eines Kabels so oft als möglich von den elektrischen Eigenschaften desselben zu überzeugen, um etwa auftretende Fehler noch bei Zeiten beseitigen zu können. Es lassen sich daher diesbezüglich nur allgemeine Regeln aufstellen.

Bevor man zu der Fabrikation eines Kabels von gegebener Konstruktion schreitet, ist in erster Linie die Wahl der entsprechenden Kupfersorte für die Leiter von grosser Wichtigkeit. Es handelt sich also zunächst darum, die Leitungsfähigkeit des verwendeten Kupfers

zu bestimmen. Der gestattete grösste Leitungswiderstand einer Ader wird bei kostspieligeren Kabeln gewöhnlich vom Auftraggeber nach vorhergegangener theoretischer Bestimmung festgesetzt und gestattet meistens keinen grossen Spielraum für den Fabrikanten.

Nachdem nun, wie bereits auf Seite 151 erwähnt wurde, die Leitungsfähigkeit der Kupferdrähte während ihrer Verarbeitung mannigfachen Änderungen unterworfen ist, sich in der Mehrzahl der Fälle aber verringert und nicht vergrössert, so ist es notwendig, nur Kupferdrähte von möglichst hoher Leitungsfähigkeit zu verwenden.

Sind die zu verarbeitenden Drahtbündel in dieser Beziehung einer gewissenhaften Prüfung unterzogen worden, so kann zu der Isolierung der einzelnen Adern geschritten werden.

Guttapercha- oder Gummiadern und alle sonstigen Adern, deren Isolationswiderstand nach ihrer weiteren Verarbeitung nicht mehr erheblich erhöht werden kann, müssen sofort unter Wasser einer genauen Prüfung auf ihren Isolationswiderstand unterzogen werden. Bei Kabeladern, welche mit Papier oder Fasergespinst isoliert sind, ist dies allerdings erst dann möglich, wenn dieselben durch einen weiteren Prozess, also beispielsweise durch Umpressen mit einem Bleimantel oder durch eine geeignete Imprägnierung, einen wasserdichten Abschluss nach aussen erhalten haben. In weiterer Folge müssen die Prüfungen der elektrischen Konstanten, so weit dies geboten erscheint, wiederholt werden, denn alle können während der Fabrikation ganz erhebliche Änderungen erfahren. Das Kupfer verändert schon beim Auf- und Abwickeln auf die Spulen seine Struktur und auch seine Leitungsfähigkeit; weiter können aber während der Fabrikation infolge allzu starken Anspannens der Drähte Zerrungen vorkommen, welche den Kupferquerschnitt verringern und mithin auch den elektrischen Widerstand des Fabrikationsstückes nachteilig beeinflussen. Einer ähnlichen Veränderlichkeit ist auch der Isolationswiderstand und die Ladungskapazität der Adern während der Erzeugung eines Kabels unterworfen, bei welcher es Anlässe genug giebt, dass die Isolierhülle beschädigt wird und durch Hinzutreten von Feuchtigkeit sowohl der Isolierwiderstand als auch die Ladungskapazität im ungünstigen Sinne verändert wird.

Wenn alle diese Messungen Ergebnisse geliefert haben, die den gestellten Bedingungen vollkommen entsprechen, so kann das fertige Kabel als gelungen bezeichnet werden; allein damit ist noch nicht gesagt, dass dieses Kabel auch schon den Anforderungen des Betriebes entsprechen wird, denn es muss ja erst verlegt werden, und während der Verlegung ist es sehr vielen Gefahren ausgesetzt, die alle geeignet sind, die Qualität des Kabels in jeder Beziehung zu verschlechtern. Es müssen also während der Verlegung ebenfalls

Messungen vorgenommen werden, durch welche sich die elektrischen Eigenschaften des zu verlegenden Kabels kontrollieren lassen.

Hier sind es fast ausnahmslos die Verbindungsstellen der einzelnen Fabrikationslängen, welchen die grösste Aufmerksamkeit geschenkt werden muss; denn während das Kabel in seinem Inneren bei einer halbwegs sorgsamen Verlegung kaum eine Veränderung erleiden dürfte, ist es bei der Herstellung der Verbindungen leicht möglich, dass Widerstands- und Isolationsfehler sowie auch unbeabsichtigte Erdschlüsse u. s. w. herbeigeführt werden, welche die Betriebsfähigkeit des Kabels gefährden.

Es sind also während der Kabellegung vor allem anderen die Spleissstellen gewissenhaften Messungen zu unterwerfen und sämtliche elektrischen Konstanten des bereits liegenden Kabels nach Massgabe des Fortschrittes der Verlegung zu kontrollieren.

Erst wenn auch diese Reihe von Messungen durchgehends befriedigende Resultate ergiebt, kann das Kabel dem Betriebe übergeben werden.

Um schliesslich ein im Betriebe stehendes Kabel möglichst lange in gutem Zustande zu erhalten, ist es später noch erforderlich, periodische Messungen vorzunehmen, damit etwa entstehende Fehler entdeckt und eliminiert werden können.

Die Bestimmung der Leitungsfähigkeit des Kupfers.

Nach dem bereits auf Seite 150 und 151 Gesagten ist die Leitungsfähigkeit des Kupfers, abgesehen von der chemischen Zusammensetzung des letzteren und der Temperatur, auch noch von der Art und Weise der mechanischen Behandlung und Verarbeitung desselben abhängig.

Berücksichtigt man nun, welchen zahlreichen und verschiedenen physikalischen Einflüssen ein Stück Kupfer unterworfen wird, bevor es jene Form erhält, welche zur Prüfung der Leitungsfähigkeit am geeignetsten ist, so ist es erklärlich, dass auch bei vollkommenster chemischer Reinheit zweier Kupferdrähte nur dann genau übereinstimmende Werte der Leitungsfähigkeit erhalten werden können, wenn die verglichenen Drähte vor ihrer Untersuchung auch genau die gleichen physikalischen Prozesse durchgemacht haben. Hieraus folgt, dass es sehr schwierig ist, die Leitungsfähigkeit des chemisch reinen Kupfers mit einer für die Technik genügenden Genauigkeit festzustellen, und dass es deshalb unmöglich ist, ein für alle Fälle passendes Normalmass für dieselbe aufzustellen, mit welchem die Untersuchungsergebnisse anderer Kupfersorten verglichen werden könnten.

Nichtsdestoweniger wird die Leitungsfähigkeit des Kupfers vielfach auf jene des chemisch reinen Kupfers bezogen und in Prozenten ausgedrückt, welche Methode sich namentlich in England eingebürgert hatte. In Deutschland wird dieselbe schon lange nicht mehr anerkannt, und es wurde nach einem Vorschlage von Werner Siemens die Leitungsfähigkeit aller Materialien auf jene des Quecksilbers bei 0° Celsius bezogen. Hiernach ist also die Leitungsfähigkeit eines Körpers von bestimmter Gestalt gleich dem Verhältnisse seines Widerstandes zum Widerstande eines ganz gleich dimensionierten Quecksilberkörpers. Diese Definition des Leitungswiderstandes, welche heute fast noch allgemein gebräuchlich ist, schliesst sich unmittelbar an die Definition der längst ausser Gebrauch gesetzten Siemens'schen Widerstandseinheit an. — Als mit der im Jahre 1881 erfolgten Einführung des vom Pariser Elektrikerkongresse adoptierten absoluten Masssystemes von der Siemens-Einheit abgegangen und als Widerstandseinheit das Ohm legalisiert wurde, hat man als Einheit der Leitungsfähigkeit den reciproken Wert des Ohm und als Einheit der spezifischen Leitungsfähigkeit den reciproken Wert des spezifischen Widerstandes, des Ohm-Centimeters, d. i. des Widerstandes bezogen auf die Volumseinheit, festgesetzt, welch letztere Einheiten gelegentlich des Chicagoer Elektrikerkongresses im Jahre 1893 mit dem Namen »Mho« bezw. »Mho-Centimeter« belegt wurden. Dieses Mass für die spezifische Leitungsfähigkeit, welch letztere ja eigentlich bei der Untersuchung der Kupfersorten allein in Betracht kommt, konnte sich aber bis heute noch nicht recht einbürgern, obwohl durch dieselbe endlich eine einheitliche internationale Bezeichnung geschaffen wurde, welche alle Missverständnisse ausschliesst und, ebenso wie die Einheiten der übrigen elektrischen Konstanten, auf dem absoluten Masssysteme aufgebaut ist. Es wird heute noch die Leitungsfähigkeit bezw. die spezifische Leitungsfähigkeit des Quecksilbers = 1 gesetzt und die Leitungsfähigkeit des Kupfers mit jener verglichen. Nach verschiedenen genauen Messungen entspricht der Leitungsfähigkeit des chemisch reinen Kupfers der Wert von nahezu 60 im Vergleiche zu jener des Quecksilbers, und von den käuflichen auf elektrolytischem Wege hergestellten Kupfersorten wird im allgemeinen eine Leitungsfähigkeit von mindestens 58 bezogen auf Quecksilber verlangt.

Zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit eines Körpers ist es notwendig, seine Dimensionen, also bei einem Drahte Länge und Querschnitt, seinen Widerstand und weiter den Temperaturkoëffizienten des Widerstandes zu kennen, um den Widerstand des Körpers auf 0° C zu reduzieren.

Die Länge des zu untersuchenden Drahtes wird mit Massstäben

gemessen. Bei Bestimmung des Querschnittes von Drähten sind aber einige Vorsichtsmassregeln geboten, weil die Drähte im allgemeinen nicht an allen Stellen genau cylindrisch und schwache Drähte überhaupt nicht derart gezogen werden können, dass ihr Querschnitt an allen Stellen genau denselben Flächeninhalt hat. Aus diesem Grunde kann man wohl bei dickeren Drähten (etwa von 2 *mm* Durchmesser an) den Durchmesser mit dem Kalibermasse bestimmen, muss ihn aber an verschiedenen Stellen messen und aus den gefundenen, etwa verschiedenen Resultaten das Mittel ziehen. Bei dünneren Drähten ist dies nicht ratsam; denn abgesehen von den thatsächlich vorhandenen Verschiedenheiten im Querschnitte werden hier auch die Ablesungsfehler bei Anwendung des Kalibermasses verhältnismässig grösser. Man bedient sich daher in diesem Falle einer anderen Methode, indem man den Querschnitt aus dem Gewichte des zu untersuchenden Drahtstückes ermittelt. Ein Stück des Drahtes von bekannter Länge, womöglich desselben, welcher untersucht werden soll, wird genau gewogen und sein spezifisches Gewicht bestimmt, wenn es nicht schon anderweitig bekannt ist. Ist P das absolute Gewicht in Grammen, L die Länge in Metern, S der Querschnitt in Quadratmillimetern, s das spezifische Gewicht, so ist $P = s\,L\,S$, woraus der Querschnitt

$$S = \frac{P}{s\,L}.$$

Die zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit nötigen Widerstandsmessungen müssen schon deshalb an kurzen Probestücken vorgenommen werden, weil man doch das Kupfer untersuchen will, bevor der Draht isoliert wird, und man letzteren daher nicht aufgespult, sondern nur ausgespannt der Probe unterziehen kann. Solche kurze Drahtstücke haben aber so geringe Widerstände, dass hierfür, in Anbetracht der zu sehr in Rechnung kommenden Übergangswiderstände, die gewöhnlichen Messmethoden nicht ausreichen. — Zu diesem Zwecke bedient man sich der Thomson'schen Doppelbrücke, welche von den Firmen Siemens & Halske sowie auch Hartmann & Braun in Frankfurt a. M. in verschiedenen Modifikationen konstruiert wird. Mittels dieser Messbrücke ist man im Stande, Widerstände bis zu 1 Millionstel Ohm unabhängig von den Übergangswiderständen zu bestimmen. (Fig. 133.)

Der Hauptstromkreis (H K) wird durch die Batterie B, einen Taster C, einen Normaldraht D und den Körper W gebildet, welch letzterer den zu messenden Widerstand zwischen den Schneiden b und b enthält. An zwei Punkte, o und e, des Normaldrahtes und an die Endpunkte b b des zu messenden Widerstandes werden die Strom-

zweige p o und m n angelegt, zwischen welche das Spiegelgalvanometer mit dem Taster C eingeschaltet ist.

In den Zweigen m, n, o und p lassen sich, wie aus Fig. 133 ersichtlich, nur dekadische Widerstände einschalten.

Ist der Widerstand m = n, ferner p = o, so herrscht im Galvanometer der Strom Null, wenn der Widerstand N zwischen e und o am Normaldraht D gleich dem Widerstande X ist.

$$N = X.$$

Der Widerstand N kann von Null bis zu einem Maximalwerte mittels eines Laufkontaktes verändert werden; es können also auf die angegebene Weise die Widerstände bis zu diesem Maximalwerte gemessen werden.

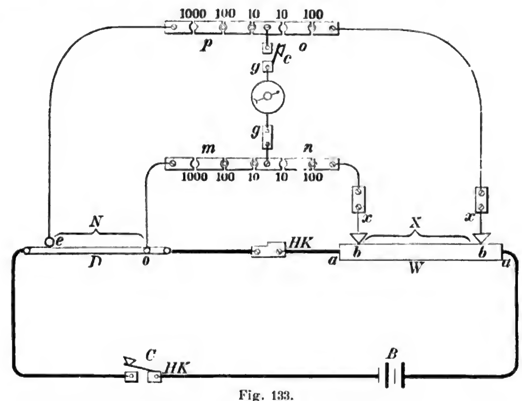


Fig. 133.

Sind die Widerstände N und X sehr verschieden, so dass diese Messungsart ungenau ausfällt, so wählt man die Widerstände m, n, p und o ebenfalls verschieden, jedoch stets so, dass $\frac{n}{m} = \frac{o}{p}$ ist.

Alsdann herrscht im Galvanometer der Strom Null, wenn

$$X = N \frac{n}{m} = N \frac{o}{p}.$$

Da die Verhältnisse $\frac{n}{m}$ und $\frac{o}{p}$ nur dekadische Werte annehmen können und der Widerstand N direkt in Ohm angegeben ist, so sind die Ziffern der Zahlen X und N dieselben; nur das Komma wird durch den Wert des Verhältnisses $\frac{n}{m}$ oder $\frac{o}{p}$ bestimmt.

Ein auf diesem Prinzipe beruhendes Instrument, welches aus der Fabrik der Firma Siemens & Halske stammt, ist in Fig. 134 in der Ansicht, in Fig. 135 schematisch dargestellt.

Der aus Neusilber oder Nickelin bestehende Messdraht N (Fig. 135) ist kreisförmig ausgespannt und zur Hälfte in eine am Rande eines Holzsockels eingedrehte Nute gebettet; derselbe wird von einem Kontaktröllchen e bestrichen, dessen Lagerstück von einem um die Achse des Instrumentes drehbaren, horizontal liegenden Arme getragen wird. Der Ort der Berührung zwischen Röllchen und Messdraht wird mittels Nonius an einer auf der Fläche des Holzsockels angebrachten Teilung abgelesen. Ein zweiter Kontakt befindet sich

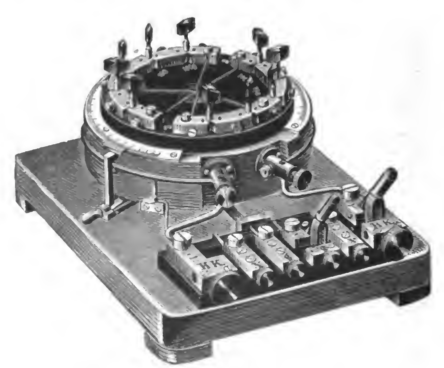


Fig. 134.

bei dem Nullstriche o der Teilung und ist mit dem Messdrahte fest verbunden. Die Widerstandsrollen m, n, o und p sind kreisförmig in demselben Holzsockel angeordnet, die Klemmen und Taster in einer Reihe neben einander vorne auf dem Fussbrette befestigt.

Die Schaltung dieses Instrumentes ist aus Fig. 135 zu ersehen und konform jener in Fig. 133 dargestellten Thomson'schen Brückenschaltung durchgeführt.

Vor der Messung werden die Widerstände in den Zweigen m, n, o und p so gewählt, dass das dem Gleichgewichte entsprechende Stück N des Messdrahtes möglichst gross ausfällt, und das Verhältnis $\frac{o}{p}$ muss stets dem Verhältnisse $\frac{n}{m}$ gleich sein. Der Wider-

stand des ganzen Messdrahtes beträgt ungefähr 0.01 Ohm, und der Widerstand des bei der Messung eingeschalteten Stückes desselben wird an der Teilung direkt in Ohm abgelesen.

Zunächst stellt man den Laufkontakt e auf 0.00 Ohm, schaltet die Batterie mittels des Tasters C, dann das Galvanometer mittels des Tasters c ein und beobachtet den Ausschlag des Galvanometers. Nun variiert man in n und o und in m und p die Widerstände unter Berücksichtigung obiger Bemerkung bezüglich ihres Verhältnisses so lange, bis der Ausschlag am Galvanometer die entgegengesetzte Richtung annimmt. Durch Verschiebung des Kontaktes e am Messdrahte wird alsdann eine Stellung desselben gefunden, bei welcher das Galvanometer keinen Strom anzeigt. Wenn N der am Messdrahte abgelesene Widerstand, X der zu messende Widerstand, so ist

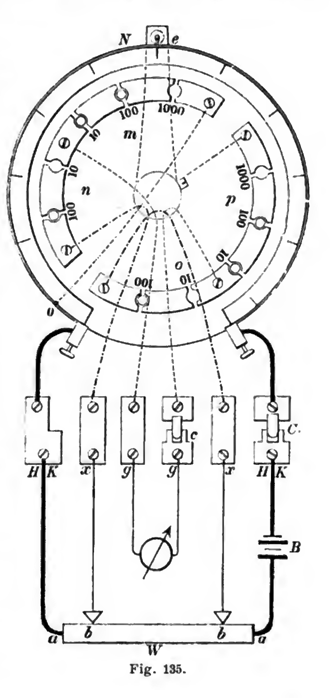


Fig. 135.

$$X = N \frac{n}{m} = N \frac{o}{p}$$

hat man z. B. n = o = 10, m = p = 1000 gestöpselt und ist N = 0.0053 Ohm, so ist X = 0.000053 Ohm.

Ändert sich weder durch Variieren der Zweigwiderstände noch durch Verstellung des Kontaktes e die Richtung des Ausschlages, so ist der zu messende Widerstand entweder grösser als 0.1 Ohm oder kleiner als 0.000001 Ohm.

Das Erstere ist der Fall, wenn bei der Wahl des grössten Wertes für das Verhältnis $\frac{n}{m}$ der schwächste Ausschlag erzielt wird, das Letztere, wenn der schwächste Ausschlag bei dem kleinsten Werte von $\frac{n}{m}$ erfolgt.

Ein solcher Widerstand lässt sich mit diesem Instrumente nicht

mehr messen, da dasselbe nur die Messung von Widerständen von 0.000001 bis 0.1 Ohm zulässt.

Das gefundene Messresultat ist aber nur für die bei der Messung herrschende Temperatur richtig und muss daher entweder vorerst auf die Temperatur von 0° C reduziert, oder es muss die Messtemperatur bei der Berechnung der Leitungsfähigkeit berücksichtigt werden.

Im ersten Falle ist nach dem auf S. 150 Gesagten:

$$X = X_0 (1 + at)$$

oder

$$X_0 = \frac{X}{1 + at}.$$

Es ist aber weiter:

$$X_0 = \frac{L}{G \, . \, S}$$

folglich

$$\frac{L}{G \, . \, S} = \frac{X}{1 + at}$$

woraus

$$G = \frac{L (1 + at)}{X \, . \, S}.$$

Wird endlich der Querschnitt S durch das Gewicht ausgedrückt

$$S = \frac{P}{s \, L}$$

und wird die Leitungsfähigkeit auf Grund des in Ohm ausgedrückten Widerstandes berechnet, so erhält man, da 1 Ohm = 1.063 S.E,

$$G = \frac{s \, . \, L^2 (1 + at)}{1.063 \, . \, X \, . \, P}$$

die gesuchte Leitungsfähigkeit bezogen auf Quecksilber (s. S. 189).

Kennt man im zweiten Falle den Widerstand X in Ohm, die Länge L des zu messenden Drahtes in Metern und seinen Querschnitt S in Quadratmillimetern und beobachtet man die Temperatur t desselben in Graden Celsius, so kann man unmittelbar daraus ebenfalls die Leitungsfähigkeit G (bei 0° C) desselben im Verhältnisse zu Quecksilber berechnen: Es ist dann

$$G = \frac{L (1 + at)}{1.063 \, . \, X \, . \, S}.$$

In beiden Fällen kann für Kupter a = 0.0037 angenommen werden. — Diese Methode erfordert grosse Genauigkeit der Messung und eine etwas umständliche Rechnung. Da es aber bei einer gewissenhaften Untersuchung der Kupfersorten in Fabriken auch von Vorteil ist, in verhältnismässig kurzer Zeit möglichst viele Unter-

suchungen vornehmen zu können, so bedient man sich vielfach auch eines anderen Instrumentes für diese Zwecke.

Ein Apparat, welcher dazu dient, in schnellster Weise mit

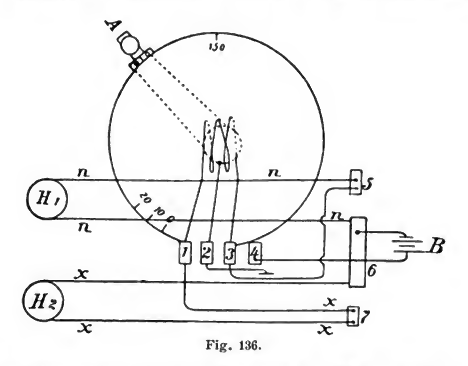


Fig. 136.

genügender Genauigkeit Leitungsfähigkeit und Widerstand der Kupferdrähte zu bestimmen, ist der in Fig. 136 schematisch und in Fig. 137 in der Ansicht dargestellte Apparat von Siemens & Halske, mittels dessen es einem geschickten Arbeiter ohne weitere Vorkenntnisse

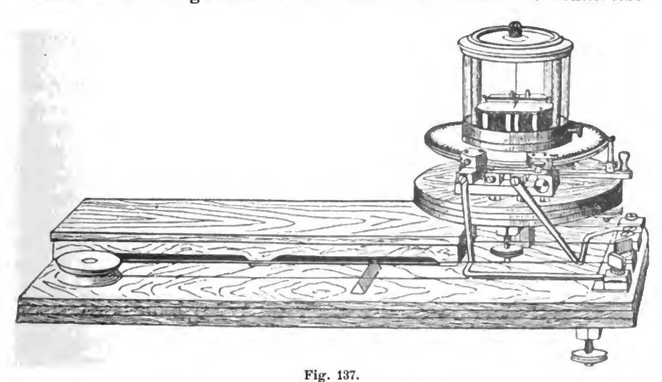


Fig. 137.

möglich ist, bis zu 10 Proben in der Stunde zu bestimmen. Dieser Apparat besteht aus dem bekannten Universalgalvanometer, bei welchem die Vergleichswiderstände durch einen Normaldraht ersetzt sind.

Das Instrument wird so eingestellt, dass die Nadel sich frei bewegt und mit beiden Spitzen ungefähr auf Null zeigt. Eine aus zwei bis drei kräftigen Elementen bestehende Batterie wird mit den Klemmen 4 und 6 verbunden. Nun wird der zu messende Draht mit feinem Schmirgelpapier an einem Ende metallisch glänzend gemacht und letzteres in Klemme 6 eingespannt, der Draht mit einiger Spannung um die Scheibe S herum nach der Klemme 7 geführt, sein zweites Ende gleichfalls blank gescheuert und in Klemme 7 eingespannt. Die Länge des freien Drahtes beträgt alsdann 1 *m*.

Nun drückt man die Taste bei 4, wodurch die Nadel abgelenkt wird. Verschiebt man sodann den Kontakt C, so wird man endlich eine Stellung finden, bei welcher die Nadel, sobald die Taste bei 4 gedrückt wird, ruhig auf Null bleibt. Auf der Schieferplatte liest man jetzt den Teilstrich ab, auf den der Nullstrich des Nonius am Kontakte zeigt, schneidet hierauf den gemessenen Draht scharf an den Klemmen 6 und 7 ab und wiegt ihn (auf Centigramm genau) ab.

Aus der Ablesung und dem Gewichte bestimmt man die Leitungsfähigkeit, welche übrigens für Kupferdrähte aus einer dem Instrumente beigegebenen Tabelle direkt abgelesen werden kann.

Die Messung ist um so genauer, je näher die Ablesung der Mitte des Messdrahtes (150^0) ist; zwischen ca. 70^0 und 230^0 ist die Bestimmung auf 1 % genau, darüber hinaus nicht.

Erhält man Ablesungen von über 230^0, so ist es zur Erzielung grösserer Genauigkeit empfehlenswert, zwei oder drei Drahtlängen von je 1 *m* neben einander einzuspannen und zu messen; die Berechnung ist alsdann dieselbe wie bei einem einzelnen Drahte.

Erhält man Ablesungen von unter 70^0, so nimmt man von demselben Drahte eine grössere Länge, z. B. 2 oder 3 *m*.

Soll die Leitungsfähigkeit von Drähten anderer Metalle bestimmt werden, so kann der Apparat dazu dienen, den Widerstand dieser Drähte nach der Formel:

$$R_t = \frac{100 + a}{400 - a} N_t$$

zu bestimmen, wobei R_t der gesuchte Widerstand bei der in Graden Celsius beobachteten Temperatur, a die Ablesung am Instrumente, N_t der Widerstand des im Instrumente enthaltenen Normaldrahtes bei derselben Temperatur ist. Die Bestimmung der Leitungsfähigkeit erfolgt sodann nach der auf S. 194 angegebenen Methode.

Die Messung des Leitungswiderstandes.

Wenn auch die Leitungsfähigkeit des blanken Drahtes vor der Isolierung durch die oben besprochenen Messungen als gut befunden

worden ist, so ist damit keinerlei Gewähr geleistet, dass auch der Leitungswiderstand der aus dem untersuchten blanken Drahte hergestellten isolierten Ader den gestellten Anforderungen entspricht, möge dieselbe nun aus einem einzigen Drahte oder aus einer Litze bestehen. Es wurde bereits an anderer Stelle erwähnt, dass die Leitungsfähigkeit der Kupferdrähte sich bei jedem mechanischen Prozesse, dem dieselben unterworfen werden, ändert. In um so grösserem Masse können diese Änderungen auftreten, wenn die Kupferader aus einer Litze bestehen soll, da hierbei, abgesehen von den auf S. 153 klargelegten Widerstandsänderungen, sowohl die Dralllänge der Litze als auch die beim Verseilen angewendete Zugkraft berücksichtigt werden muss. Der Drall allein bewirkt eine Vergrösserung des Kupferquerschnittes der Litze, d. h. letzterer ist grösser als die Summe der Querschnitte der einzelnen Drähte, was eine Verminderung des Leitungswiderstandes der Litze zur Folge hat. Durch die in der Maschine beim Verseilen aufgewendete Zugkraft hingegen werden die Drähte etwas gedehnt, daher ihr Querschnitt kleiner und ihr Leitungswiderstand grösser. Es hängt also bei unveränderter Leitungsfähigkeit ganz vom Drall und von der Art des Verseilens ab, ob der Leitungswiderstand der Litze grösser oder kleiner wird als der Widerstand der gerade ausgespannt und parallel geschaltet gedachten Drähte von der Länge der Litze; deshalb müssen diese unvermeidlichen Widerstandsänderungen unausgesetzt überwacht und die bezüglichen Messungen in den einzelnen Stadien der Fabrikation unbedingt vorgenommen werden.

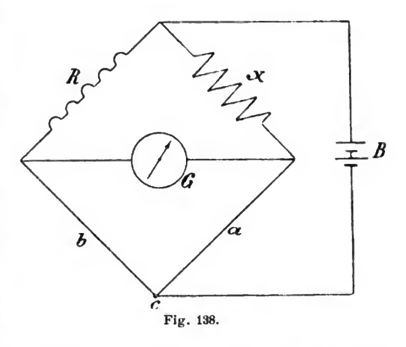


Fig. 138.

Die Methoden, welche gegenwärtig bei solchen Messungen angewendet werden, beruhen fast alle auf dem Prinzipe der Wheatstone'schen Brücke, und die Instrumente, die nach diesem Prinzipe konstruiert werden, zerfallen in zwei Gruppen.

Es sind dies die Drahtbrücken und die Stöpselbrücken.

Bei beiden Arten von Instrumenten wird der gesuchte Widerstand mit einem bekannten Widerstande, dem Vergleichswider-

stande, verglichen und der Galvanometerzweig durch Veränderung des Verhältnisses der Brückenzweige stromlos gemacht.

Bei der Drahtbrücke ist die Wahl der Vergleichswiderstände R (Fig. 138) eine beschränkte; dagegen kann das Verhältnis der Brückenzweige $\frac{a}{b}$ beliebig verändert werden, indem diese Brückenzweige aus einem Drahte von bestimmter Länge bestehen, längs dessen ein mit der Batterie verbundener Gleitkontakt c verschoben werden kann.

Durch Verschiebung des Gleitkontaktes c wird das Verhältnis $\frac{a}{b}$ dem Verhältnisse $\frac{X}{R}$ gleich gemacht und der Galvanometerzweig daher stromlos. Es ist dann

$$X = R \cdot \frac{a}{b}.$$

Wenn bei einer Drahtbrücke der Brückendraht von nicht bedeutender Länge in gespanntem Zustande ohne weitere Vorsicht angewendet wird, so können bei der Messung leicht Fehler von mehreren Prozenten auftreten. Führt man nämlich mit Zugrundelegung der Längenverhältnisse der Zweige eines noch so genau gezogenen Messdrahtes von Neusilber, Platin, Platinsilber u. s. w. eine Reihe von Widerstandsmessungen aus, so findet man, dass die Messungen um so ungenauer werden, je mehr sich die Stellung des Gleitkontaktes den Enden des Messdrahtes nähert. Es rührt dies daher, dass die Widerstände der Klemmen, in denen der Messdraht eingespannt ist, sowie auch die Übergangswiderstände zwischen diesen Klemmen und dem Drahte zu dem Drahtwiderstande hinzu zu rechnen sind, was in Wirklichkeit aber nicht geschieht, wenn man bloss die Zweiglängen des eingespannten Drahtes misst. Bei diesen Ungenauigkeiten mögen auch noch andere Gründe mitwirken, welche in der ungleichen Spannung des Drahtes gelegen sein können. Thatsache ist, dass für sehr genaue Widerstandsmessungen, wie sie bei Kabeln vorgenommen werden müssen, solche Drahtbrücken nicht vollkommen ausreichen.

Für Messungen, welche solche Genauigkeit nicht erfordern, empfiehlt sich die Meter-Brücke und das Universal-Galvanometer von Siemens & Halske, welche Instrumente so allgemein bekannt sind, dass von einer näheren Beschreibung hier abgesehen werden kann.

Die zweite Art von Instrumenten, welche auf dem Prinzipe der Wheatstone'schen Brücke beruhen, die Brücken mit Stöpselwiderständen, eignen sich weit besser für feine Widerstandsmessungen

und werden zu diesen Zwecken auch fast ausschliesslich verwendet.

Bei diesen Instrumenten unterliegt die Wahl des Verhältnisses der Brückenzweige $\frac{a}{b}$ einer Beschränkung, während der Vergleichswiderstand R beliebig gewählt werden kann. Es bestehen sowohl die Brückenzweige als auch die Vergleichswiderstände aus Widerstandsrollen, welch letztere ähnlich den Gewichtssätzen abgeglichen sind und durch Ziehen der entsprechenden Stöpsel beliebig eingeschaltet werden können.

Diese Einrichtung bietet den Vorteil, dass der gesuchte Widerstand, abgesehen vom Komma, stets direkt am Instrumente durch

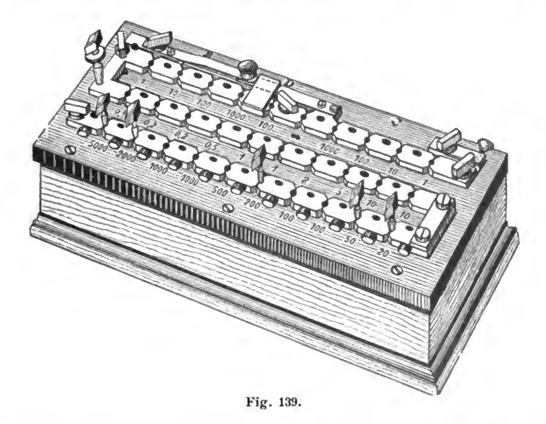


Fig. 139.

Summierung der eingeschalteten Vergleichswiderstände abgelesen werden kann, ohne dass erst, wie dies bei Drahtbrücken der Fall ist, eine Rechnung vorgenommen oder eine Tabelle zu Rate gezogen werden muss. Weiter gewähren diese Apparate den Vorteil, ihren Messbereich auf einfache Weise durch Anwendung von Übersetzungen in Brückenzweigen von 1 : 10, 1 : 100, 1 : 1000 zu vergrössern, was bei Drahtbrücken nur durch Anwendung verschiedener Vergleichswiderstände zu erreichen ist.

Die Brückenzweige und der Vergleichswiderstand sind bei diesen Apparaten neuester Konstruktion stets in einem einzigen Kasten vereinigt und bequem zu handhaben. Ein solcher Apparat ist der Universalwiderstandskasten von Siemens & Halske, welcher hauptsächlich als Messbrücke, aber auch zu anderen Zwecken ver-

wendet werden kann und in Fig. 139 in der Ansicht, in Fig. 140 schematisch dargestellt ist.

Bei diesen Instrumenten sind die verschiedenen mit A, B, C und D bezeichneten Arten von Widerständen in drei Reihen angeordnet und in den in Fig. 140 angegebenen Sätzen abgeglichen. Die Einschaltung des zu messenden Widerstandes, der Batterie und des Galvanometers sind auch aus derselben Figur ersichtlich, und diese Schaltung ist, wie Fig. 141 zeigt, ebenfalls aus der Wheatstone'schen Schaltung entstanden.

Es ist

$$X = A \cdot \frac{C}{B + D}.$$

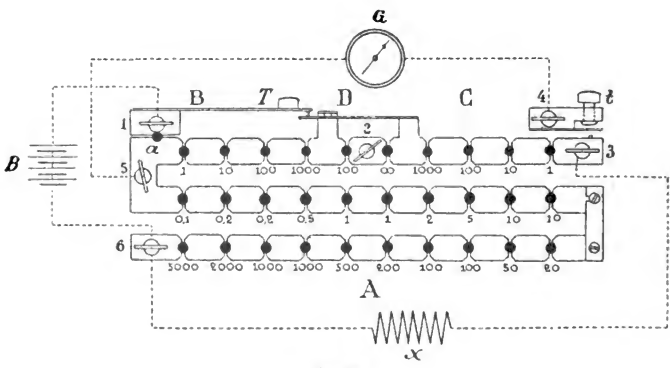


Fig. 140.

Bevor zu der Messung geschritten wird, ist der Widerstand 100 bei D und jener bei ∞, welche zu anderen Zwecken bestimmt sind und deren Zwecke zu erläutern nicht hierher gehört, kurz zu stöpseln; sie werden daher gleich 0, und es ist

$$X = A \cdot \frac{C}{B}.$$

Liegt der zu messende Widerstand innerhalb der Grenze von 0.1 und 5000 Ohm und ist derselbe nur auf Zehntel zu bestimmen, so kann C = B gewählt werden, und dann ist X = A.

Wird das Verhältnis $\frac{C}{B} = \frac{1}{1000}$ gewählt, so ist

$$X = \frac{A}{1000}$$

und der kleinste noch messbare Widerstand beträgt

$$\frac{0.1}{1000} = 0.0001 \text{ Ohm.}$$

Nimmt man dagegen $\frac{C}{B} = 1000$ an, so ergiebt sich für X = 1000 A, und wenn im Vergleichswiderstande A sämtliche Stöpsel gezogen sind, so ist der grösste messbare Widerstand

$$X = 1000 \times 10000 = 10000000 \text{ Ohm.}$$

Diese hier gefundenen äussersten Grenzen der noch messbaren Widerstände zeigen, dass dieses Instrument einen sehr grossen Messbereich besitzt und daher für alle Arten von Messungen für Leitungswiderstände vollkommen ausreicht.

Nachdem die Widerstände D und ∞ kurz gestöpselt sind und der Stöpsel bei a gezogen wurde, wird bei genauen Messungen und wenn der zu messende Widerstand, wie dies gewöhnlich der Fall ist, nicht unmittelbar an die Klemmen 3 und 6 angeschaltet werden kann, vorerst der Widerstand der Zuleitung bestimmt, indem man dieselbe einfach kurz schliesst und deren Widerstand auf die weiter unten angedeutete Art misst.

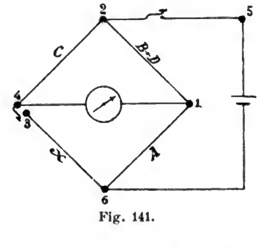


Fig. 141.

Nun wird der zu messende Widerstand in die Zuleitung eingeschaltet, das Verhältnis $\frac{C}{B}$ entsprechend gewählt, im Vergleichswiderstande A ein Widerstand eingeschaltet, welcher dem zu messenden mit Rücksicht auf das Verhältnis $\frac{C}{B}$ nahezu entspricht, und die beiden Taster T und t gedrückt. Die Beobachtung des Galvanometers zeigt nun beispielsweise einen Ausschlag nach der rechten Seite, welcher darauf schliessen lässt, dass der Vergleichswiderstand zu gross angenommen wurde.

Es wird daher ein kleinerer Vergleichswiderstand eingeschaltet, wobei man jedoch nicht den nächstkleineren wählen, sondern die Grenzen ermitteln soll, innerhalb welcher der zu messende Widerstand gelegen ist. Das Galvanometer wird sodann bei abermaligem Tasterdrücken einen Ausschlag in der entgegengesetzten Richtung, also beispielsweise nach links, zeigen. Diese beiden Grenzen werden nun durch entsprechendes Einschalten von Widerständen immer enger gezogen, bis am Galvanometer bei wiederholtem Niederdrücken des Tasters kein Ausschlag mehr wahrzunehmen ist. Die im Vergleichs-

widerstande A eingeschalteten Widerstandssätze werden nun summiert, mit dem gewählten Verhältnisse $\frac{C}{B}$ multipliziert und von dem erhaltenen Betrage der Widerstand der Zuleitung abgezogen. Das Endresultat ist dann gleich dem zu messenden Widerstande in Ohm.

Das Anwenden von Übersetzungen, also die Wahl eines grossen Verhältnisses zwischen C und B, muss mit Vorsicht geschehen und zwar um so mehr, je grösser die Übersetzung ist. Dies ist namentlich deshalb nötig, weil die zu der Brücke gehörigen Leitungen, Klemmen, Widerstände u. s. w. bei gleichen Zweigen nicht in Rechnung fallen, sobald sie in den zu einander gehörigen Zweigen gleich oder ähnlich sind, aber um so mehr zu Fehlern Veranlassung geben, je verschiedener, je ungleicher die zu einander gehörigen Zweige sind. Es ist deshalb zu empfehlen, bei grossen Übersetzungen das Verhältnis der Brückenzweige durch genau bekannte Widerstände festzustellen und die auf diesem Wege erlangte Korrektion in Rechnung zu ziehen.

Als Galvanometer ist bei diesen Messungen stets ein gut gedämpftes Spiegelgalvanometer zu verwenden.

Die Messung des Isolationswiderstandes.

Ebenso notwendig wie die Bestimmung der Leitungsfähigkeit und des Leitungswiderstandes ist es für den Kabelelektriker, sich von dem Zustande der Isolation des Kabels während und nach der Fabrikation sowie auch während und nach der Legung des Kabels zu überzeugen.

Bevor die gebräuchlichen Methoden der Isolationsmessung beschrieben werden, ist es notwendig, die bei der Messung verwendeten Instrumente einer Besprechung zu unterziehen. Von einer eingehenden Erörterung der Theorien derselben wird hier wohl abgesehen, weil dieses Kapitel in vielen vorzüglichen Werken bereits erschöpfend behandelt wurde, doch soll das Wesen und der Zweck dieser Instrumente kurz erörtert werden.

Das wichtigste Instrument für diese Art von Messungen ist für den Kabelelektriker das Galvanometer.

Nachdem man es bei den Kabelmessungen meistens mit sehr schwachen Strömen zu thun hat, so benötigt man ein äusserst empfindliches Galvanometer und weiter eine Vorrichtung, durch welche man in den Stand gesetzt wird, auch die minimalen Ablenkungen des Galvanometermagnetes beobachten und messen zu können.

Diese Eigenschaften sind bei den sogenannten Spiegelgalvanometern, welche sich in den letzten Jahren in hohem Masse ein-

gebürgert haben, in sinnreicher Weise vereint. Um die Empfindlichkeit dieser Instrumente zu erhöhen, wird teils die auf den Magnet wirkende Richtkraft des Erdmagnetismus geschwächt, teils die Wirkung des Stromes auf den Magnet bezw. die Nadel erhöht. Dies geschieht durch sogenannte astatische Magnetsysteme und gewöhnlich durch zwei Richtmagnete.

Wenn man eine im Mittelpunkte ihrer Achse aufgehängte Magnetnadel n s (Fig. 142) mit einer zweiten Magnetnadel s' n' derart fest verbindet, dass die entgegengesetzten Pole der Nadeln genau über einander und in eine Ebene zu liegen kommen, so sucht jede dieser beiden Nadeln sich zu orientieren und sich in die Richtung des magnetischen Meridians einzustellen. Denkt man sich die obere Nadel orientiert, so wird die untere das Bestreben haben, sich um einen Winkel von 180^0 zu drehen, so dass die gleichnamigen Pole der beiden Nadeln über einander zu liegen kämen. Es wird also jede Nadel die Richtkraft der anderen schwächen, und hätten diese beiden Nadeln gleiche magnetische Momente, so würde das ganze System gar keine Richtkraft besitzen.

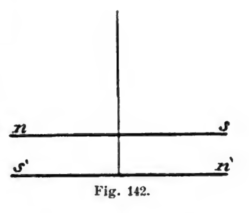


Fig. 142.

In der Praxis ist es aber geboten, dass ein solches System ohne Stromeinwirkung eine bestimmte Normalstellung einnimmt, in welche es, wie es aus derselben abgelenkt wurde, immer wieder zurückkehrt. Es muss also dem astatischen Magnetsysteme eine gewisse Richtkraft belassen werden, was man dadurch erreicht, dass man einen der beiden Magnete, gewöhnlich den oberen, etwas stärker magnetisiert.

Wenn ein solches Nadel- oder Magnetsystem in einem Galvanometergewinde etwa derart angeordnet ist, dass die eine Nadel innerhalb, die andere ausserhalb des Gewindes schwingt, so erhält man eine Anordnung, deren Prinzip den sogenannten astatischen Galvanometern zu Grunde liegt.

Die Empfindlichkeit eines astatischen Galvanometers ist um so grösser, je geringer der Unterschied der Magnetismen oder je höher die Astasie seines Galvanometermagnetsystemes ist.

Die Richtmagnete haben den Zweck, die Astasie des Magnetsystemes beliebig erhöhen oder verringern und die Ruhelage desselben beliebig verändern zu können, indem der eine derselben in der Richtung des magnetischen Meridians derart orientiert wird, dass er dem Erdmagnetismus mehr oder weniger entgegenwirkt.

Je vollständiger die Wirkung des Erdmagnetismus durch diesen Richtmagnet aufgehoben wird, desto grösser ist die Empfindlichkeit. — Der zweite Richtmagnet hat gar keinen Einfluss auf die Empfindlichkeit des Magnetsystemes. Ist derselbe senkrecht auf den magnetischen Meridian eingestellt, so bleibt das Magnetsystem in der Ruhelage in der Ebene des magnetischen Meridians; weicht die Stellung dieses Richtmagnetes von der gedachten Senkrechten ab, so bewirkt dies nichts weiter, als dass das Magnetsystem ebenfalls mit der Ebene des magnetischen Meridians einen Winkel bildet. Diese letztere Vorrichtung dient nur dazu, die Aufstellung des Spiegelgalvanometers zu erleichtern.

Eine weitere Einrichtung, welche bei den für Kabelmessungen bestimmten Spiegelgalvanometern von grosser Wichtigkeit ist, bezieht sich auf die Schwingungsdauer der Galvanometermagnete. Die Schwingung einer Galvanometernadel ist in jeder Beziehung mit einem schwingenden Pendel zu vergleichen, weil in beiden Fällen eine Drehung um eine feste Drehachse unter dem Einflusse einer Kraft von konstanter Richtung und Grösse erfolgt.

Bei den galvanometrischen Beobachtungen bei Kabelmessungen ist man genötigt, die Ablenkung des Galvanometermagnetes nach einer bestimmten Dauer des Stromschlusses abzulesen, und daher nicht in der Lage, so lange zu warten, bis ein frei ausschwingender Magnet zur Ruhe kommt. Man musste daher daran denken, die Schwingungszeit abzukürzen, zu dämpfen, also zu bewirken, dass der Magnet schneller oder auch gleich nach der ersten Ablenkung zur Ruhe kommt. Jede diesen Zweck verfolgende Vorrichtung wird »Dämpfer« genannt.

Die Dämpfung kann eine mechanische sein, indem man die Oberfläche des Galvanometermagnets dadurch vergrössert, dass man ihn mit Flügeln ausrüstet, welche die Schwingungen durch den der Luft entgegengesetzten Widerstand, die sogenannte Luftdämpfung, verringern. In ähnlicher Weise kann auch eine Flüssigkeitsdämpfung angewendet werden.

Schliesslich kann die Dämpfung noch eine elektrodynamische sein. Man hat schon längst wahrgenommen, dass ein schwingender Magnet schneller zur Ruhe kommt, wenn er zwischen zwei Metallplatten schwingt, dass seine Bewegungen gerade so gehemmt werden, als wenn er sich plötzlich durch eine dickflüssige Masse bewegen müsste. Arago erklärte diese Erscheinung dahin, dass in den Metallplatten Ströme induziert werden, welche den Magnet im entgegengesetzten Sinne seiner Schwingung anzuziehen suchen und dadurch die Bewegung des Magnetes hemmen.

Diese verschiedenen Arten der Dämpfung, namentlich aber die elektrodynamische, werden für praktische Zwecke bei Messinstrumenten angewendet.

Die Form und Beschaffenheit des Magnetes hat aber auch auf die Schwingungsdauer einen bedeutenden Einfluss. Je grösser das Trägheitsmoment und je kleiner das magnetische Moment, desto grösser ist die Schwingungsdauer. Man kann die Dämpfung schliesslich so weit vervollkommnen, dass der Magnet gar keine Schwingung mehr macht, dass er also, wenn ein Ausschlag erfolgt ist, sofort seine neue Ruhelage einnimmt. Gauss hat auf mathematischem Wege die Bedingungen erforscht, unter welchen eine solche Bewegung, welche er als aperiodische, d. h. schwingungslose Bewegung bezeichnete, stattfinden kann, und Du Bois-Reymond hat diese Untersuchungen sowie die Theorie der Dämpfung weiter ausgeführt. Diese Forschungen brachten Werner Siemens auf die Idee, einen Magnet zu konstruieren, welcher für die aperiodische Bewegung ganz besonders geeignet ist. Es ist dies der sogenannte Glockenmagnet (Fig. 143), wie er bei vielen Spiegelgalvanometern Anwendung gefunden hat. Derselbe besteht aus einem oben abgerundeten Stahlcylinder, welcher von unten nach oben durch einen axialen Schnitt aufgeschlitzt ist. Am obersten Teile desselben ist ein Messingstäbchen eingeschraubt, das den Spiegel trägt. Der Glockenmagnet wird derart magnetisiert, dass die beiden durch den Schlitz getrennten Hälften der Stahlglocke entgegengesetzte Pole tragen.



Fig. 143.

Werden solche zwei Glockenmagnete an einem Stäbchen über einander aufgehängt, so dass ihre gleichnamigen Pole die entgegengesetzten Richtungen haben, so bildet dies ein astasiertes Glockenmagnetsystem, wie es bei dem später beschriebenen astatischen Spiegelgalvanometer von Siemens & Halske in Verwendung steht. Die Stellung des Spiegels, ob derselbe nämlich zwischen oder über den Magneten befestigt ist, spielt keine wesentliche Rolle.

Es erübrigt nur noch, zum Abschluss des prinzipiellen Teiles der Spiegel-Ggalvanometer etwas über die Spiegelablesung zu sagen.

Die Bewegung des Galvanometermagnetes ist stets eine Drehung. Befestigt man an dem Magnete einen Spiegel und lässt auf denselben einen von einem fixen Punkte ausgehenden Lichtstrahl fallen, so macht der vom Spiegel reflektierte Strahl die Bewegung des Spiegels mit, und zwar ist nach dem Gesetze der Reflexion die Drehung des reflektierten Strahles stets doppelt so gross wie diejenige des Spiegels. Es giebt daher die Drehung des reflektierten Strahles ein Mass für die Wirkung des Stromes auf den Magnet. Der Weg, welchen jener

Strahl bei der Drehung beschreibt, ist natürlich um so grösser, je grösser die Entfernung vom Spiegel ist, in welcher man den Strahl auffängt, und es bietet daher die Vergrösserung dieser Entfernung ein Mittel dar, um die Bewegung des Magnetes in beliebigem Massstabe zu vergrössern.

Der Lichtstrahl, dessen Bewegung beobachtet wird, lässt sich nun entweder mittels eines Fernrohres beobachten oder objektiv darstellen, und es findet daher sowohl die Spiegelablesung mit Fernrohrablesung als auch jene mit objektiver Darstellung vielfache Anwendung.

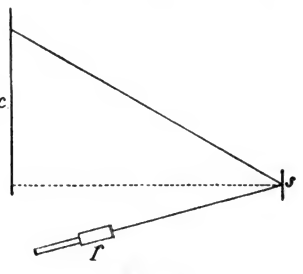


Fig. 144.

Fig. 144 zeigt die Einrichtung der Spiegelablesung mit Fernrohr. Eine gut beleuchtete Skala C wird vor dem Spiegel senkrecht zu seiner Achse aufgestellt. Das mit einem Fadenkreuz versehene Fernrohr f wird derart auf den Spiegel gerichtet, dass man in demselben die Skala sieht; dreht sich der Spiegel, so gelangen nach einander immer andere von der Skala ausgehende Lichtstrahlen in das Fernrohr, und man sieht in demselben die Skala an dem Fadenkreuze vorbei ziehen. Die Ablenkung des Magnetes lässt sich durch die Stellungen des Fadenkreuzes auf der in Millimeter eingeteilten Skala leicht beurteilen.

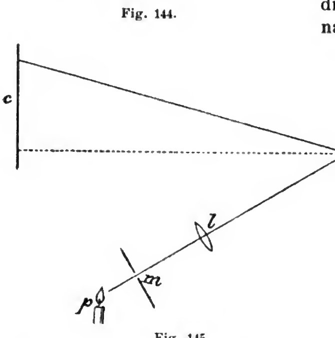


Fig. 145.

Die Spiegelablesung mit objektiver Darstellung ist in Fig. 145 ersichtlich gemacht.

Ein Lichtstrahl der Flamme p wird durch den Spalt m und die Sammellinse l auf den Spiegel geworfen und von da auf die Skala reflektiert. Die Linse l wird so lange verstellt, bis man auf der Skala ein scharfes Bild des Spaltes sieht, welch letzterer in seiner Mitte einen vertikal gespannten feinen Draht enthält, dessen Schatten dann ebenfalls inmitten des Lichtbildes auf der Skala zu sehen ist. Dreht sich der Spiegel, so wandert das Lichtbild auf der Skala, und seine

Stellungen zeigen wieder die Ablenkungen des mit dem Spiegel fest verbundenen Magnetes an.

Für industrielle Messungen, wie dieselben in Kabelfabriken in

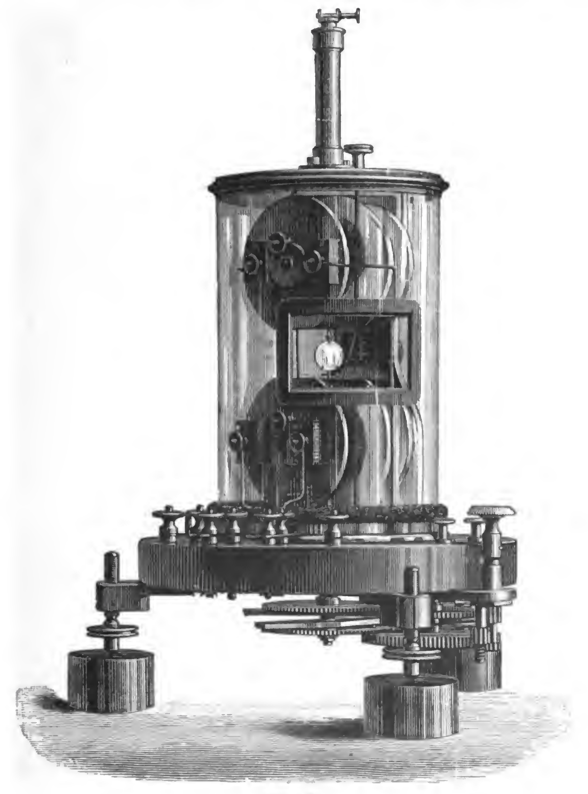


Fig. 146.

grosser Anzahl und auch häufig vor Übernahmskommissionen vorgenommen werden müssen, wird die Spiegelablesung mit objektiver Darstellung derjenigen mit Fernrohr vorgezogen, weil sie bei den vielen

vorzunehmenden Messungen das Auge des Beobachters weniger anstrengt und diese Ablesung noch den Vorteil hat, dass mehrere Personen gleichzeitig die Ablenkungen des Galvanometerspiegels beobachten können.

Ein bei Kabelelektrikern wegen seiner hohen Empfindlichkeit sehr beliebtes Spiegelgalvanometer ist das astatische Spiegel-Galvanometer von Siemens & Halske, Fig. 146. Das astatische Magnetsystem besteht aus zwei in Kupferhülsen schwingenden Glockenmagneten, welche beide von je zwei Drahtrollen von zusammen 6000 Ohm umgeben sind, wodurch die grosse Empfindlichkeit

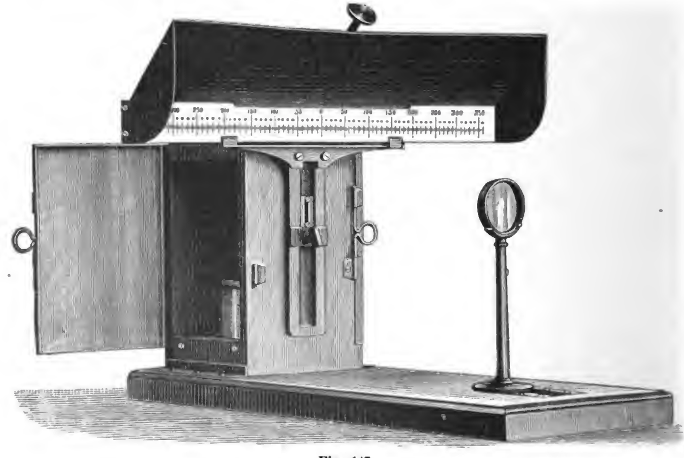


Fig. 147.

des Instrumentes erzielt wurde. Der Spiegel ist plan und in der Mitte zwischen beiden Magneten nach allen Seiten drehbar angebracht, so dass der Einfluss von Erschütterungen auf den Spiegel möglichst gering ist. Die Drehbarkeit des Spiegels gestattet, dass man demselben jede den örtlichen Verhältnissen angemessene Stellung geben kann, während das Magnetsystem nie anders als in seiner besten Lage, nämlich im Meridian, aufgestellt zu werden braucht. — Unter der Grundplatte des Instrumentes sind zwei Richtmagnete angebracht, welche durch ein Zahnrädertriebwerk bequem gedreht oder gekreuzt werden können. Über das ganze Instrument wird ein rundes Glasgehäuse gestülpt, durch welches dasselbe vor Staub geschützt ist.

Bezüglich der Aufstellung dieses Instrumentes gelten in erster Linie jene Regeln, welche für sämtliche Spiegelgalvanometer beobachtet werden müssen. Dasselbe darf nicht in Verbindung mit einem hölzernen Fussboden gebracht werden, sondern ist auf einer Konsole an einer Wand, welche möglichst wenigen Erschütterungen ausgesetzt ist, zu befestigen, wobei auf eine vorzügliche Isolierung des Instrumentes ganz besonders geachtet werden muss. Auch auf magnetische Vorgänge in der Nähe ist die grösste Rücksicht zu nehmen; so ist die Nähe von Maschinen oder Strassen mit lebhaftem Verkehre möglichst zu vermeiden. Ist das Instrument auf der Konsole hochisoliert aufgestellt worden, so wird es derart gedreht, dass die Windungsebenen der Drahtrollen in den magnetischen Meridian zu liegen kommen; man bringt ferner das Magnetsystem zum freien Schweben und stellt das Instrument durch Regulierung der Fussschrauben vertikal. Hat das Magnetsystem sodann seine Ruhelage eingenommen, so wird es mittels der angebrachten Arretiervorrichtung festgeklemmt und der Spiegel in die Lage gedreht, welche er je nach der Aufstellung der Ablesevorrichtung einnehmen soll. Nun stülpt man das Glasgehäuse über das Instrument, so dass das in demselben eingesetzte Planglas vor dem Spiegel und parallel mit diesem steht. Die zu diesem Instrument gehörige Ablesevorrichtung, welche in einer Entfernung von 1 bis 1,5 Meter vom Galvanometer gleichfalls auf einer Wandkonsole derart anzubringen ist, dass der von rückwärts durch eine Lampe beleuchtete Spalt in gleicher Höhe mit dem Galvanometerspiegel zu stehen kommt, ist in Fig. 147 abgebildet.

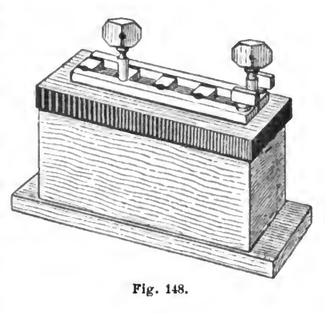


Fig. 148.

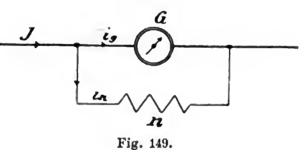


Fig. 149.

Um den Messbereich des Spiegelgalvanometers sowohl auf starke als auch auf schwache Ströme ausdehnen zu können, bedient man sich eines sogenannten Nebenschlusses (Fig. 148), d. i. eine Reihe von Widerständen, welche in einfacher numerischer Beziehung zum Widerstande des Galvanometers steht und welche — zum Galvanometer parallel geschaltet — es ermöglicht, von jedem zu

messenden Strome nur einen bestimmten Teil durch das Galvanometer zu senden.

Beträgt der Widerstand des Nebenschlusses n, den m^{ten} Teil des Galvanometerwiderstandes g,

$$n = \frac{g}{m},$$

wobei m eine ganze Zahl ist, und bedeutet J den Strom im Hauptstromkreise, i_g den durch das Galvanometer und i_n den durch den Nebenschluss fliessenden Strom (Fig. 149), so ist:

$$i_n + i_g = J,$$

$$i_n : i_g = g : n = g : \frac{g}{m} = m : 1$$

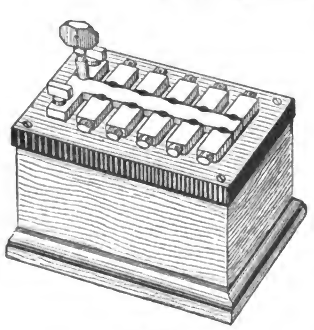


Fig. 150.

hieraus ist:

$$i_g = J \frac{1}{m + 1},$$

$$i_n = J \frac{m}{m + 1}.$$

Ist also der Widerstand des Nebenschlusses z. B. der neunte Teil desjenigen des Galvanometers, so geht der zehnte Teil des Stromes durch das Galvanometer, oder ist

$$\frac{n}{g} = \frac{1}{9}, \text{ so ist } \frac{i_g}{J} = \frac{1}{10}.$$

Fertigt man den Nebenschluss so an, dass dessen Widerstände $\frac{1}{9}, \frac{1}{99}, \frac{1}{999}$ u. s. f. des Galvanometerwiderstandes sind, so geht bei deren Einschaltung $\frac{1}{10}, \frac{1}{100}, \frac{1}{1000}$ u. s. f. des Hauptstromes durch das Galvanometer, und man kann daher das empfindlichste Galvanometer auch für stärkere Ströme verwenden.

Für Kabelmessungen ist ferner ein Kommutator notwendig, welcher gestattet, dem Strome im Galvanometer die passende Richtung zu geben, ohne hierbei die Stromrichtung im Hauptstromkreise ändern zu müssen.

Mit Hilfe eines Doppeltasters kann man schliesslich durch eine einfache Handbewegung den einen Pol der Batterie mit dem einen Ende, den anderen Pol mit dem anderen Ende des Stromkreises verbinden und durch eine gleiche entgegengesetzte Handbewegung das Anlegen der Batteriepole wieder vertauschen. Dieser Doppel-

taster muss ferner das Anlegen der Batterie sowohl momentan durch den Druck des Fingers als auch bleibend, durch Umlegen eines Hebels, ohne dass der Finger liegen bleiben muss, ermöglichen.

Weiter wird noch ein grosser Normalwiderstand von womöglich 1 Million Ohm verwendet, der in Sätze von je 100 000 Ohm eingeteilt und in Fig. 150 in circa $^1/_5$ natürlicher Grösse dargestellt ist, und endlich braucht man zur Isolationsmessung eine Batterie

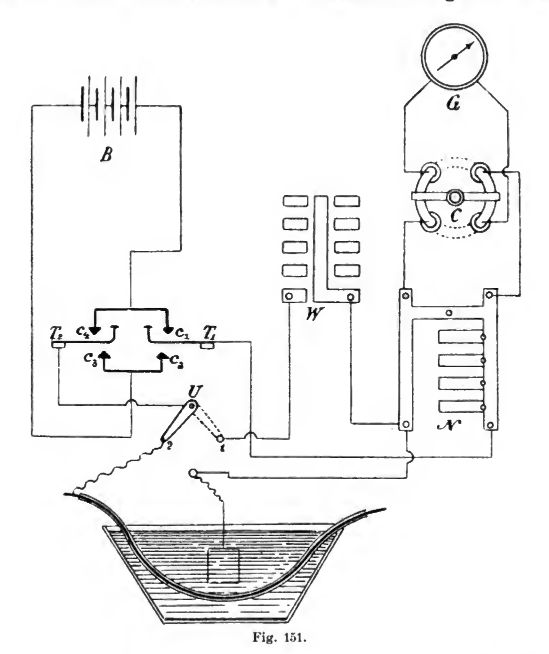


Fig. 151.

von 100 bis 200 Elementen mit einer elektromotorischen Kraft von 100 bezw. 200 Volt. Auf die gute Erhaltung der letzteren ist ein Hauptaugenmerk zu richten und die Inanspruchnahme derselben möglichst einzuschränken.

Ebenso wie beim Spiegelgalvanometer ist auch bei allen übrigen zur Messung nötigen Apparaten die Isolation von grösster Wichtigkeit, und es sei hier nochmals erwähnt, dass man weder Mühe noch

Kosten scheuen soll, um die Isolation, so gut nur überhaupt möglich, auf das Höchste zu steigern, da nur in diesem Falle wirklich verlässliche Messungen gemacht werden können.

Die Isolationsmessung wird bei Kabeln gewöhnlich nach der Methode des direkten Ausschlages vorgenommen, und es ist die hierzu erforderliche Schaltung der Apparate in Fig. 151 dargestellt.

Zur Messung des Isolationswiderstandes der Isolierhülle eines Kabels wird dasselbe vorerst in ein mit Wasser gefülltes Bassin versenkt, so dass es mit Ausnahme seiner Enden vollständig eintaucht. Trockenmessungen haben nur bei Bleikabeln und zwar nur dann einen Zweck, wenn man die vollste Ueberzeugung hat, dass die Bleihülle wirklich einen ganz wasserdichten Abschluss nach aussen gewährt. Sie dürfen daher höchstens bei Kabeln mit doppeltem Bleimantel gestattet werden, da man bei solchen Kabeln annehmen kann, dass die in dem einen Mantel etwa vorkommenden undichten Stellen durch gute Stellen des zweiten Mantels verdeckt werden. Das Bassin, in welchem das zu messende Kabel wenigstens 24 Stunden vor der Messung unter Wasser gesetzt werden muss, besteht gewöhnlich entweder aus Eisen, dann kann die Wand selbst als Erde benutzt werden, oder aus Holz oder Stein, dann muss man als Erde eine oder mehrere Kupferplatten in das Bassin versenken. Letzteres ist auch bei eisernen Bassins notwendig, wenn dieselben innen mit Ölfarbe angestrichen sind.

Die beiden Enden des Kabels werden vor der Messung entsprechend hergerichtet. Die Armierung ist auf entsprechende Länge zu entfernen und die Isolierung in kürzerer Länge frisch und sehr vorsichtig anzuschneiden; hierbei darf weder Feuchtigkeit hinzutreten, noch die Isolierung der Adern gegen die feuchte Oberfläche des Kabels durch Unreinigkeiten gefährdet werden. Zu diesem Zwecke pflegt man die blossgelegte und gut gereinigte Isolierhülle über einer Spirituslampe gehörig zu trocknen. Die Zuleitung, welche von den Messinstrumenten zum Kabel führt, ist ebenfalls beiderseits frisch anzuschneiden, und hierbei sind dieselben Vorsichtsmassregeln zu treffen wie beim Kabel.

Ist sowohl beim Bassin als auch im Messzimmer alles genügend vorbereitet, so schreitet man zunächst zur Bestimmung der Empfindlichkeit des Galvanometers.

Hierzu wird der Strom derselben Batterie, welche zur eigentlichen Isolationsmessung dient, benutzt. Im Messzimmer wird die Kurbel U (Fig. 151) auf den Kontakt 1 gelegt, der Taster T_1 an den Kontakt C_1 gedrückt und der Taster T_2 in seine Mittelstellung gebracht. Ferner wird der Normalwiderstand W von beispielsweise

100 000 Ohm und der Galvanometernebenschluss $\frac{1}{N_w} = \frac{1}{999}$ eingeschaltet.

Jetzt wird der Taster T_2 gedrückt, dadurch der Kontakt C_3 geschlossen und der Galvanometerausschlag beobachtet. Zur Kontrolle wird eine zweite Messung mit umgekehrten Polen vorgenommen. Es wird Taster T_2 an Kontakt C_4, Taster T_1 in seine Mittelstellung gebracht und der Kommutator C umgelegt, wodurch beim Anlegen des Tasters T_1 an Kontakt C_2 der Ausschlag des Galvanometers im selben Sinne erfolgt. Wird aus diesen beiden Beobachtungen das Mittel gezogen, so ergäbe sich beispielsweise am Galvanometer ein Ausschlag von $\alpha_w = 129$ Skalenteilen. Da der Nebenschluss $\frac{1}{N_w} = \frac{1}{999}$ eingeschaltet war, so ist der $(N_w + 1)^{te}$, also der 1000ste Teil des Batteriestromes, durch das Galvanometer gegangen. Wäre kein Nebenschluss eingeschaltet gewesen, so hätte die Ablenkung $129 \times 1000 = 129\,000$ Skalenteile betragen müssen, oder der Strom müsste 129 000 mal kleiner sein, um ohne Nebenschluss einen Ausschlag von einem Skalenteil zu erzielen. Der Widerstand im Stromkreise betrug aber 100 000 Ohm, wenn der Batteriewiderstand vernachlässigt wird, und es entspricht daher dem Widerstande von 100 000 Ohm ein Ausschlag von 129 000 Skalenteilen; daher müsste der Widerstand, um nur einen Skalenteil Ausschlag zu erhalten, $129\,000 \times 100\,000 = 12\,900$ Millionen Ohm betragen.

Nach dieser Empfindlichkeitsbestimmung wird der Isolationswiderstand des Kabels gemessen. Zu diesem Zwecke wird das eine Ende des Kabels isoliert, das andere Ende mit dem einen Ende der Messleitung, das zweite Ende der letzteren mit der im Bassin versenkten Kupferplatte verbunden und die Temperatur des Wassers abgelesen.

Die Kurbel U wird an Kontakt 2 gelegt, und die übrige Schaltung bleibt so, wie sie bei der Bestimmung der Empfindlichkeit war; nur wird jetzt, wenn man es mit einem grossen Isolationswiderstande zu thun hat, beispielsweise kein Nebenschluss eingeschaltet. Es ist dann $N_x = 0$.

Jetzt zeigt z. B. das Galvanometer nach einer Minute seiner Elektrisierung einen Ausschlag von acht Skalenteilen.

Nun wird der Isolationswiderstand der Messleitung in gleicher Weise gemessen. Die Ablenkung betrage fünf Skalenteile. Dieser Ausschlag wird von dem Ausschlage des Kabels + Zuleitung in Abzug gebracht, und es ist dann $\alpha_x = 8 - 5 = 3$ Skalenteile der Ausschlag für das Kabel allein. Nachdem sich aber die Ausschläge um-

gekehrt wie die Widerstände verhalten, so ist

$$X : W = a_w (N_w + 1) : a_x (N_x + 1)$$

$$\text{oder } X = W \cdot \frac{a_w}{a_x} \cdot \frac{N_w + 1}{N_x + 1} = 10^5 \cdot \frac{129}{3} \cdot \frac{10^3}{1} = 4300 \cdot 10^6 \text{ Ohm}$$

der Isolationswiderstand des Kabels bei der herrschenden Kabeltemperatur.

Dieser durch Messung gefundene Wert für den Isolationswiderstand muss nun erst durch Rechnung auf eine normale Temperatur reduziert werden, als welche in Österreich und Deutschland + 15° C angenommen wurde. Die hierzu erforderliche Berechnung wird nach Tabellen vorgenommen, welche durch sorgfältige Bestimmungen an dem betreffenden Material, aus dem die Isolierung besteht, aufzustellen sind. Zu diesem Zwecke werden einige Kabel-Adern von möglichst fehlerfreier Beschaffenheit nach einander unter Wasser verschiedenen Temperaturen ausgesetzt und ihre Isolationswiderstände gemessen. Die gefundenen Resultate werden entweder durch eine Formel oder in einer Kurve vereint und darnach die Tabelle ausgearbeitet, welche für jede Temperatur den Koëffizienten angiebt, mit dem der durch Messung gefundene Isolationswiderstand multipliziert werden muss, um auf die Normaltemperatur reduziert zu werden.

Die Bestimmungen der Temperaturkoëffizienten sind eine sehr mühsame Arbeit, bei welcher eine absolute Genauigkeit eigentlich nicht erzielt werden kann, wenn man bedenkt, dass der Koëffizient für jede Sorte eines und desselben Materiales ein anderer ist, dass derselbe auch mit der Zeitdauer der Elektrisierung im Zusammenhang steht und dass noch viele andere Schwierigkeiten, wie die Veränderlichkeit der Isolationsmaterialien durch grössere Temperaturdifferenzen u. a., sehr in Betracht kommen. — Die in verschiedenen Werken sowie auch die hier angefügten Tabellen (siehe Seite 152, 158 und 159) bilden daher nur einen Behelf für annähernd richtige Resultate, und da es bei Isolationsmessungen in der Praxis in den wenigsten Fällen auf absolut genaue Resultate ankommt, so genügen diese Tabellen gewöhnlich. Um die Reduktion auf die Normaltemperatur zu umgehen, pflegt man das Wasser, in welches die Kabel versenkt werden sollen, gleich auf die Normaltemperatur zu bringen und auf dieser Temperatur bis nach erfolgter Messung zu erhalten.

Ein weiterer Umstand, welcher bei Isolationsmessungen nicht ausser Acht gelassen werden soll, ist jener, dass die Isolationshüllen als schlechte Wärmeleiter die sie umgebende Temperatur äusserst langsam annehmen, was ebenfalls eine störende Fehlerquelle bilden kann. Infolge dieses Umstandes wird der Kupferleiter am spätesten

die Wassertemperatur annehmen, und diese Temperaturdifferenz kann unter Umständen einige Grade betragen.

Da nun der Temperaturkoëffizient für Kupfer viel genauer bestimmt werden kann als jener der Isolierung und man daher aus dem gemessenen Widerstande des Kupfers, ohne einen wesentlichen Fehler zu begehen, auf seine Temperatur schliessen kann, so ist damit ein Hilfsmittel gegeben, die Temperatur der Isolierung zu bestimmen, indem man zwischen der bestimmten Kupfertemperatur und der abgelesenen Temperatur des Wassers das Mittel zieht. — Dieser Vorgang ist namentlich dann zu beobachten, wenn es sich um Trockenmessungen handelt.

Während der Verlegung von Kabeln ist man gleichfalls bemüssigt, Isolationsmessungen an den bereits liegenden Kabelstücken vorzunehmen, bei welchen zumeist auch die angegebene Methode angewendet wird. Allein es müssen während der Verlegungsarbeiten auch die

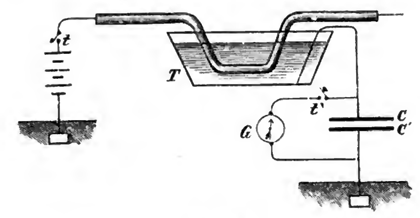


Fig. 152.

Isolationswiderstände der vorhandenen Lötstellen einer gewissenhaften Messung unterzogen werden, und zu diesem Zwecke pflegt man eine andere Anordnung zu treffen.

Der Isolationswiderstand von Lötstellen wird stets mit jenem eines Stückes gesunder Kabelader von gleicher Konstruktion und gewisser Länge verglichen, und bei Guttapercha-Kabeladern wird gewöhnlich die Bedingung gestellt, dass der Isolationswiderstand einer Lötstelle nicht grösser ist als jener einer 4 *m* langen, tadellosen Guttapercha-Ader von gleicher Beschaffenheit.

Zur elektrischen Untersuchung von Lötstellen wird vielfach die Methode von Bright & Clark angewendet. Zunächst prüft man ein Stück gesunder Kabelader von der ausbedungenen Länge und zwar auf folgende Weise: Die Kabelader wird in einen wohlisolierten Trog T gebracht (Fig. 152), das eine Ende derselben mit der Messbatterie verbunden und das zweite Ende auf die bereits beschriebene Weise gut isoliert. Der zweite Pol der Messbatterie wird an Erde gelegt.

In den Trog T wird ferner eine Kupferplatte versenkt, welche sowohl mit der einen Belegung C eines Kondensators als auch mit dem Galvanometer G verbunden wird. Die zweite Klemme des Galvanometers und die zweite Belegung C' des Kondensators werden gleichfalls an Erde gelegt. Drückt man nun die Taste t, so tritt etwas Elektrizität durch die Isolierhülle der Kabelader in den Trog und von da zur Belegung C des Kondensators. Nach Verlauf einer Minute unterbricht man den Batteriestrom und entladet den Kondensator durch das Galvanometer, indem man die Taste t' niederdrückt. Der Umkehrungspunkt des Galvanometerausschlages bildet ein Mass für den Entladestrom, mit welchem jener der in gleicher Weise untersuchten Lötstelle verglichen wird.

Bezeichnet man mit α den Galvanometerausschlag bei eingeschalteter Vergleichsader, mit β den Ausschlag bei eingeschalteter Lötstelle und sind R und R_1 die zugehörigen Isolationswiderstände, so ist:

$$\alpha : \beta = R_1 : R,$$

woraus

$$R_1 = \frac{\alpha}{\beta} \cdot R.$$

Durch diese Formel ist dann die Güte der Lötstelle bestimmt.

Die Messung der Ladungs-Kapazität.

Zur Messung der Ladungs-Kapazität kann man sich verschiedener Methoden bedienen, allein von Kabelelektrikern werden nur zwei derselben angewendet, wovon die eine für kürzere Kabel oder einzelne Fabrikationsteile allgemein gebräuchlich ist, während die andere sich auch für längere Kabel, also bereits verlegte Kabellinien, eignet. Die Instrumente, welche bei diesen Messmethoden zur Anwendung kommen, sind mit Ausnahme des Kondensators bereits aus der Beschreibung der Messinstrumente für Isolationsmessungen bekannt.

Der bei Kapazitätsmessungen nötige Kondensator ist dasselbe, was bei Widerstandsmessungen der Vergleichswiderstand ist, und ebenso wie man bei Erzeugung von Widerstandsskalen ein Metall benötigt, dessen Widerstand möglichst konstant bleibt, bedarf man auch bei der Herstellung von Kapazitätsskalen eines Körpers, dessen spezifisches Ladungsvermögen sich mit der Zeit möglichst wenig ändert. Für Messzwecke bedient man sich stets der sogenannten Plattenkondensatoren. Die Anfertigung der Plattenkondensatoren geschieht in der Weise, dass man isolierende Platten, welche gewöhnlich aus Glimmer oder auch aus einem anderen Materiale bestehen, und Stanniolblätter von rechteckiger Form in der in Fig. 153 angedeuteten Weise abwechselnd über einander schichtet, um dem Kondensator die entsprechende Oberfläche zu geben. In dieser schema-

tischen Darstellung bedeuten die mit + und — bezeichneten Linien die Stanniolblätter, die dazwischen liegenden Linien die isolierenden Platten, also beispielsweise Glimmerplatten. Die Stanniolblätter stehen abwechselnd auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten über die Glimmerplatten vor, während sie an den übrigen drei Seiten den Rand der letzteren nicht erreichen; die nach einer Seite vorstehenden Enden der Stanniolblätter werden unter einander leitend verbunden und bilden zusammen eine Belegung des Kondensators.

Auf diese Art kann man Kondensatorskalen von beliebiger Ladungskapazität anfertigen und die einzelnen Abteilungen, ähnlich den Widerstandsskalen, wie bei einem Gewichtssatze wählen und mittels Klemmen derart adjustieren, dass durch Stöpselung die Einschaltung einer oder mehrerer solcher Abteilungen möglich ist.

Der in Fig. 153 skizzierte Skalenkondensator enthält vier Abteilungen, welche einzeln oder gleichzeitig geladen werden können. Die Klemmen a, b, c und d sind mit den gleichnamigen Belegungen der zu ihnen gehörigen Kondensatoren, die Klemme B mit allen übrigen Belegungen verbunden. Verbindet man nun den Kondensator mittels der Klemmschrauben bei A und B mit dem Stromkreise, so kann man durch entsprechende Stöpselung beliebige Kondensator-Skalen einschalten.

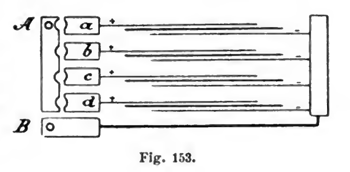


Fig. 153.

Die für Messzwecke dienenden Kondensatoren dürfen nicht zu hohen elektrischen Spannungen ausgesetzt werden; sie sind in der Regel auf höchstens 200 Volt berechnet; wenn daher die bei den Kapazitätsmessungen angewendeten Spannungen 100—150 Volt nicht überschreiten, so ist eine Gefahr des Durchschlagens der Kondensatoren nicht zu fürchten.

Die Kapazitätsmessungen in Kabelfabriken während der Fabrikation werden gewöhnlich nach der Methode des einfachen Ausschlages vorgenommen.

Nach dieser Methode wird vorerst ein Normalkondensator durch eine konstante Batterie geladen und die durch den Entladungsstrom bewirkte Ablenkung des Galvanometermagnetes abgelesen. Sodann wird statt des Normalkondensators das zu messende Kabel eingeschaltet, geladen und ebenfalls die durch den Entladungsstrom hervorgerufene Galvanometer-Ablenkung beobachtet. Die Kapazität des gemessenen Kabels verhält sich alsdann zu jener des Normalkondensators wie die betreffenden Ausschläge.

Nachdem die Entladungsströme nur von kurzer Dauer sind und ihre Intensität stetig abnimmt, so wird auch die Galvanometer-Ablenkung nur eine momentane sein, und man muss daher den Umkehrungspunkt der Ablenkung an der Skala ablesen.

Zu diesem Zwecke eignen sich am besten Spiegelgalvanometer, deren Magnet ein grosses Trägheitsmoment und ein geringes

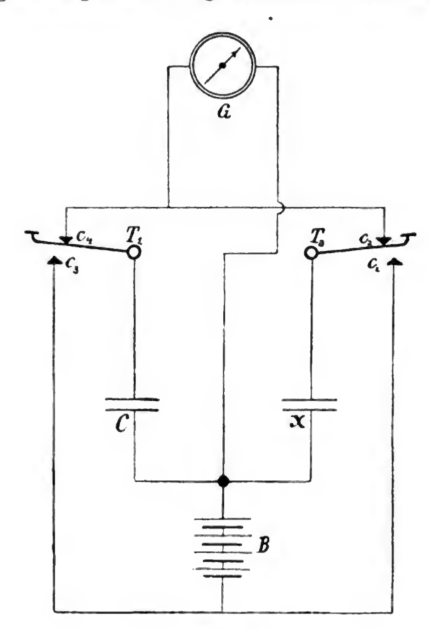


Fig. 154.

magnetisches Moment besitzt; es sind dies sogenannte ballistische Spiegelgalvanometer.

Bei den aperiodischen Spiegelgalvanometern sind zuweilen Vorrichtungen angebracht, mittels welcher sich dieselben auf einfache Weise in ballistische Spiegelgalvanometer umwandeln lassen.

Die Schaltung, die bei der Methode des einfachen Ausschlages vorgenommen werden muss, ist in Fig. 154 dargestellt.

Für die Messung kann das Kabel, wie dies bei Isolationsmessungen geschieht, ebenfalls unter Wasser gesetzt werden.

Das eine blanke Ende der zu messenden Kabelader wird sodann an die Messleitung geschaltet, das andere Ende derselben isoliert, während die im Bassin befindliche Kupferplatte mit dem zweiten Ende der Messleitung zu verbinden ist. Der Kondensator wird derart gestöpselt, dass man beim Entladen desselben auf der Skala einen entsprechend grossen Ausschlag erhält, und die beiden Taster T_1 und T_2 werden in ihre Mittellage gebracht. Vorerst wird der Normalkondensator eine Minute lang geladen und zu diesem Zwecke der Taster T_1 gegen den Kontakt C_3 gedrückt. Hierbei führt der Stromkreis vom positiven Pole der Batterie B zum Kontakte C_3 über den Tasterhebel zur einen Belegung des Kondensators und von der anderen Belegung zur Batterie zurück. Nachdem in diesem Stromkreise kein Widerstand eingeschaltet ist, wird auch der momentane Elektrizitätsfluss ein ziemlich heftiger sein, und aus diesem Grunde ist die Schaltung derart getroffen, dass der Ladungsstrom das Galvanometer gar nicht passiert. Nach erfolgter Ladung wird der Normalkondensator entladen, indem man den Taster T_1 an den Kontakt C_4 anlegt. Der Stromlauf führt nun vom Kondensator C über den Tasterhebel zum Kontakte C_4 und durch das Galvanometer zur zweiten Belegung des Kondensators. Alle übrigen Stromwege sind unterbrochen. Während der Entladung des Kondensators beobachtet man die Galvanometer-Ablenkung und findet beispielsweise, dass der Ausschlag α_c 200 *mm* betragen habe. Nun wird der Taster T_1 wieder in seine Mittellage gebracht, in welcher er weder den Kontakt C_1 noch den Kontakt C_2 berührt, und die Ladung und Entladung des zu messenden Kabels vorgenommen, indem man den Taster T_2 erst an den Kontakt C_1 und dann an den Kontakt C_2 anlegt. Der Ausschlag α_x betrüge nun, nachdem das Kabel ebenso lange geladen wurde wie der Kondensator, 120 *mm*. Bezeichnet man die Kapazität des Kondensators mit C_c und jene des Kabels mit C_x so ist:

$$C_x : C_c = \alpha_x : \alpha_c$$

woraus

$$C_x = C_c \cdot \frac{\alpha_x}{\alpha_c}.$$

Hätte nun die Kapazität der eingeschalteten Kondensatorabteilung 0.1 Mikrofarad betragen, so ist:

$$C_x = 0.1 \cdot \frac{120}{200} = 0.06 \text{ Mikrofarad.}$$

Es kann aber auch vorkommen, dass der Ausschlag, den man bei eingeschaltetem Kabel erhält, entweder zu klein oder zu gross ausfällt, um den Umkehrungspunkt desselben mit Sicherheit ablesen

zu können. In diesem Falle muss man, wenn nicht ein Nebenschluss angewendet wird, die elektromotorische Kraft der Batterie mittels eines Batteriewählers vergrössern oder verkleinern, und da sich die Kapazitäten umgekehrt wie die elektromotorischen Kräfte verhalten, so ist in diesem Falle

$$C_x = C_c \frac{\alpha_x}{\alpha_c} \cdot \frac{E_c}{E_x}$$

wenn E_c die elektromotorische Kraft bedeutet, mit welcher der Kondensator geladen wurde, und E_x die zur Ladung des Kabels aufgewendete elektromotorische Kraft vorstellt.

Wäre nun während der Messung $E_c = 40$, $E_x = 60$ Volt gewesen, so wäre bei Beibehaltung der übrigen Werte die Kapazität des gemessenen Kabels

$$C_x = 0.1 \cdot \frac{120}{200} \cdot \frac{40}{60} = 0.04 \text{ Mikrofarad.}$$

Eine wesentliche Fehlerquelle der Methode des einfachen Ausschlages bildet die Zeit, welche die Isolationshülle des Kabels braucht, um sich zu elektrisieren. Die Dauer dieser Verzögerung der Elektrizitätsbewegung ist aber nicht so geringfügig, dass sie gänzlich vernachlässigt werden könnte, und sie ist in erster Linie der Kapazität und der Länge des Kabels direkt proportional. Hieraus geht hervor, dass für lange Kabel die Methode des einfachen Ausschlages unbrauchbar ist. In jenen Fällen, wo es sich um die Kapazitätsmessung von mehrere Kilometer langen Kabeln handelt, wird gewöhnlich die sogenannte Kompensations-Methode angewendet, welche hier kurz angedeutet werden soll.

Nach dem in Fig. 155 dargestellten Schaltungsschema, welches bei der Kompensationsmethode Anwendung findet, wird die Batterie B durch einen Widerstand $r_1 + r_2$, längs dessen sich ein Erdkontakt verschieben lässt, geschlossen, wodurch die Kontakte a und b entgegengesetzte Spannungen annehmen. Durch Verschieben des Erdkontaktes lässt sich jedes beliebige Verhältnis dieser beiden Spannungen hervorbringen, und legt man die beiden Taster T an die Kontakte a und b, so werden das Kabel K und der Normalkondensator C Spannungen annehmen, die zu einander in demselben Verhältnisse stehen.

Werden jetzt die Taster T an die Kontakte m und n angedrückt, welche mit einander in leitender Verbindung stehen, so neutralisieren sich die Ladungen des Kabels und des Normalkondensators bis auf einen Rest, dessen Grösse man durch Niederdrücken des Tasters t an den Kontakt s, also durch Entladung durch das Galvanometer G, messen kann. Es wird sich für den Erdkontakt leicht eine Stelle

finden lassen, bei welcher Kabel und Normalkondensator gleich grosse, entgegengesetzte Elektrizitätsmengen aufnehmen, so dass nach ihrer Neutralisierung kein Rest mehr übrig bleibt und das Galvanometer keinen Ausschlag mehr zeigt. Dann verhalten sich die Kapazitäten umgekehrt wie die Widerstände:

$$x = c \cdot \frac{r_2}{r_1}.$$

Die Untersuchung der Hochspannungs-Kabel.

Die Untersuchung der Kabel auf hohe Spannungen erstreckt sich hauptsächlich auf Wechselstromkabel, und da für Wechselstrombetrieb sehr häufig konzentrische Kabel Verwendung finden, so sind es hauptsächlich die letzteren, welche diesen Prüfungen unterzogen werden müssen.

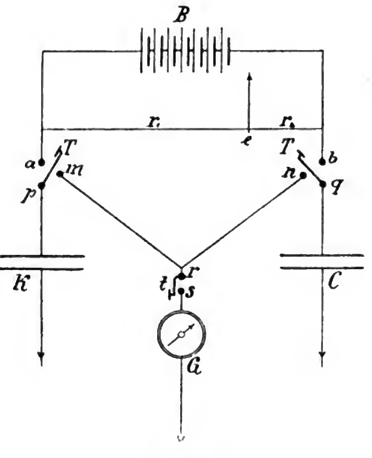


Fig. 155.

Die Isolierhülle solcher Kabel erfordert bei ihrer Herstellung die grösste Sorgfalt; es muss hierzu das beste Isolationsmaterial verwendet und jede Spur von Feuchtigkeit aus ihrem Inneren entfernt werden. Um nun den Nachweis zu erbringen, dass die Isolierhülle, sowohl zwischen den beiden Leitern als auch zwischen dem äusseren Leiter und der Kabelarmatur, den an sie gestellten Anforderungen vollkommen entspricht und selbst dann die Gefahr eines Durchschlagens derselben nicht besteht, wenn aus was immer für Gründen die Betriebsspannung im Kabel über das festgesetzte Maximum hinausgeht, ist es nötig, bei der Untersuchung des Kabels in dieser Richtung die strengsten Bedingungen zu stellen.

Zu diesem Zwecke müssen alle jene Kabel, welche hochgespannte Ströme zu führen haben, bei den Hochspannungs-Untersuchungen, ohne Schaden zu erleiden, mindestens eine Stunde lang der doppelten

Spannung ausgesetzt werden können, als jene ist, welcher sie während des Betriebes standhalten müssen.

Der zu diesen Untersuchungen erforderliche Strom wird einer Wechselstrommaschine entnommen und mittels Transformatoren auf die bei der Untersuchung nötige Spannung gebracht. Der eine Pol des Transformators wird vorerst mit der zentrischen, der andere mit der konzentrischen Leitung des zu untersuchenden Kabels verbunden; die freien Enden der Kabelleitungen müssen vollkommen isoliert sein. Parallel zum Kabel wird sodann ein geeignetes elektrostatisches Voltmeter eingeschaltet und mittels eines Schalthebels Strom gegeben.

So lange das Kabel gut ist, wird das Voltmeter die durch den Transformator erzeugte Spannung anzeigen. In dem Momente aber, als die Isolationshülle zwischen den beiden geladenen Leitungen durchgeschlagen ist, lässt das Voltmeter sofort ein rapides Sinken der Spannung erkennen. In diesem Falle muss zur Fehlerbestimmung geschritten, die durchgeschlagene Stelle der Isolationshülle aufgesucht und ausgebessert werden, bis sich das Kabel zum Gebrauche für die bestimmte Spannung geeignet zeigt. — Diese Probe muss endlich auch zwischen der äusseren Leitung und der Armatur, welche zunächst gewöhnlich aus einem Bleimantel besteht, vorgenommen werden.

Bei der Untersuchung von Kabeln mit einer einzigen Leitung ist die Probe zwischen der Leitung und der Armatur zu machen.

Es ist überflüssig zu sagen, dass bei derartigen Untersuchungen mit der gebotenen Vorsicht zu Werke gegangen werden muss, da die physiologischen Wirkungen solch hochgespannter Ströme hinlänglich bekannt sind.

Diese Prüfungen werden heute, den Bedürfnissen der Technik entsprechend, schon bis zu Spannungen von 40 000 Volt und darüber ausgedehnt; sie erfordern ausserordentlich sichere Transformatoren und vorzügliche Instrumente. Bei Hochspannungs-Untersuchungen bis zu 10 000 Volt bedient man sich, wie bereits erwähnt wurde, eines elektrostatischen Spannungsmessers, deren es verschiedene Konstruktionen giebt, welche aber alle auf dem Prinzipe des Quadranten-Elektrometers von Lord Kelvin beruhen.

Bei Anwendung von Spannungen über 10 000 Volt benutzt man gewöhnlich eine entsprechend angelegte Glühlampenbatterie, welche durch die Helligkeit, mit welcher die Lampen brennen, die Spannung im Kabel anzeigt.

Ein äusserst kompendiöses elektrostatisches Voltmeter für hohe Spannungen konstruiert die Firma Hartmann & Braun in Bockenheim-Frankfurt a. M. Die von dieser Firma herrührenden dosen-

förmigen Instrumente, deren eins für 2000 Volt Spannung in Fig. 156 in $^{1}/_{4}$ natürlicher Grösse abgebildet erscheint, beruhen ebenfalls auf dem Prinzipe des Lord Kelvin'schen Quadranten-Elektrometers. Eine biskuitförmige Nadel spielt zwischen vier Quadrantenpaaren, welche zur Erzielung einer annähernd proportionalen Skala besonders geformt sind. Zwei diametral gegenüberliegende Paare wirken auf die Nadel abstossend, die beiden anderen anziehend. Das Voltmeter ist sowohl für Wechselstrom von irgend welcher Frequenz, für Drehstrom und Gleichstrom als auch zur Messung statischer Elektrizität verwendbar, verursacht keinerlei Energieverluste, ist frei von Selbstinduktion und wird von benachbarten Strömen nicht beeinflusst. Behufs aperiodischer Einstellung des Zeigers ist auf der Achse eine Aluminiumscheibe befestigt, die sich zwischen den Polen eines permanenten Magnets bewegt. Im Inneren sind in die Leitung nach den Quadranten und der Nadel leicht ersetzbare Schmelzdrähte eingeschaltet; ausserdem liegt im Nebenschluss zu den Quadranten und der Nadel eine Funkenunterbrechung, welche das Instrument vor Beschädigung schützt, indem bei abnormer Steigerung der Spannung die Funken an dieser Vorrichtung überspringen.



Fig. 156.

Sämtliche mit der Spannungsquelle in metallischer Verbindung stehenden Teile sind von dem Gehäuse isoliert.

Solche Voltmeter stellt die obengenannte Firma für Spannungen von 1000—10000 Volt her.

Die Fehlerbestimmungen.

Unter allen in der Elektrotechnik vorkommenden Messungen sind die Fehlerbestimmungen in elektrischen Leitungen im allgemeinen die schwierigsten, denn man hat es hier nicht, wie bei allen anderen elektrischen Untersuchungen, mit konstanten oder regelmässiger Veränderlichkeit unterworfenen Vorgängen zu thun, sondern man muss die unerwartetsten Erscheinungen einer scharfen Beobachtung unterziehen, um daraus auf Ort und Art des Fehlers schliessen zu

können. Diese Gattung von Messungen bildet daher die beste Probe für die Geschicklichkeit, Erfahrung und Einsicht des Kabelelektrikers, denn es lassen sich hierfür als allgemeine Richtschnur wohl Methoden angeben, im Übrigen bleibt es aber dem Ermessen des Kabelelektrikers ganz anheim gestellt, die richtigen Mittel und Wege selbst zu finden, welche ihm in einfachster und bestimmtester Weise für die Erforschung der verborgensten Fehler dienlich sein können. Aus diesem Grunde wäre es ganz unmöglich, dieses Kapitel erschöpfend zu behandeln, und es können daher nur einige Methoden angegeben werden, welche sich in der Praxis immer bewährt haben. Die Fehlerbestimmungen bei der Kabelfabrikation können sowohl bei den einzelnen noch nicht vereinigten Kabeladern als auch bei Kabeln in den verschiedenen Fabrikationsstadien vorgenommen werden. Dieselben sind zumeist bei Isolationsfehlern sowie bei Unterbrechung der Adern vorzunehmen und können mit grosser Genauigkeit ausgeführt werden, wenn es nicht an Zeit gebricht. Die wichtigste von allen Methoden zur Aufsuchung eines Isolationsfehlers ist die sogenannte Schleifenprobe. Die Schaltung der einen Art dieser Methode ist in Fig. 157 dargestellt.

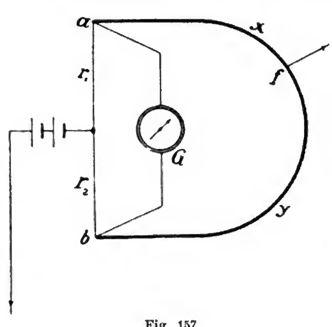


Fig. 157.

a b ist ein Messdraht mit einem Gleichkontakte, an den der eine Pol der Messbatterie angelegt ist, während der andere Pol leitend mit der Erde verbunden wird. An a b ist sowohl das Galvanometer als auch der Kupferleiter des fehlerhaften Kabels von der Länge l und vom bekannten Widerstande r_1 angeschaltet, welch letzteres durch die Fehlerstelle f, an welcher der Strom zur Erde abfliesst, in zwei Teile x und y geteilt ist. Nun sucht man mittels des Gleitkontaktes am Messdraht eine Stelle, bei welcher Gleichgewicht herrscht und das Galvanometer keinen Ausschlag mehr zeigt. Wenn r_x und r_y die Widerstände der Stücke x und y vorstellen, so besteht die Beziehung:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_x}{r_y}, \text{ da aber } r_x + r_y = r_1,$$

so ist:

$$r_x = r_1 \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2} \text{ und } r_y = r_1 - r_x.$$

Die Widerstände r_x und r_y lassen sich durch die Quotienten aus den zugehörigen Längen und dem Querschnitte der Kabelader ausdrücken, daher die Längen der Stücke x und y, und somit die Fehlerstelle genau ermitteln.

Eine andere Form dieser Methode besteht darin, dass man r_1 und r_2 durch gleich grosse feste Widerstände, also $r_1 = r_2 = r$ ersetzt (Fig. 158), jedoch bei b eine Widerstandsskala R einschaltet, und durch entsprechende Stöpselung den Widerstand R sucht, bei welchem Gleichgewicht eintritt. Es ist dann

$$r_x = r_y + R,\ r_x + r_y = r_l$$

und daraus

$$r_x = \frac{r_l + R}{2},\ r_y = \frac{r_l - R}{2}.$$

Bei groben Fehlern ist die Anordnung der Schleifenprobe leicht auszuführen; je feiner der Fehler jedoch ist, desto vorsichtiger muss man bei der Messung zu Werke gehen.

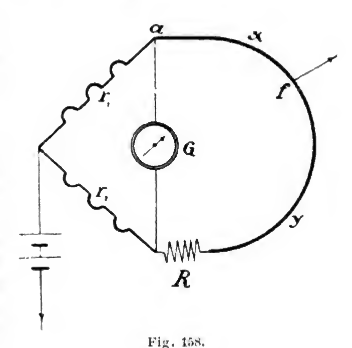


Fig. 158.

Die Isolationsfehler in Kabeln werden gewöhnlich durch feine Kanäle hervorgerufen, welche sich von der Oberfläche der Isolierschicht teilweise oder ganz bis zum Kupferleiter erstrecken und mit Feuchtigkeit gefüllt sind. Der Widerstand, den ein solcher Fehler dem gegen Erde abfliessenden Strome entgegensetzt, kommt bei Anwendung der Schleifenprobe insofern nicht in Betracht, als er auf die Messung keinen direkten Einfluss ausübt, da derselbe nicht zu den Zweigwiderständen, sondern zum Batteriezweig gehört. Ändert sich jedoch dieser Widerstand infolge von auftretender Polarisation und Gasentwickelung in dem Fehlerkanale, was namentlich dann stattfindet, wenn zur Messung von feinen Fehlern stärkere Ströme verwendet werden müssen, dann wird die Messung bedeutend schwieriger, denn durch jede Veränderung des Fehlerwiderstandes tritt auch eine Veränderung der im Kabel herrschenden Spannungen auf, welche wieder eine Änderung der Ladung in den beiden durch die Fehlerstelle getrennten Kabelstücken mit sich bringt, weil die letzteren fast in allen Fällen ungleich gross sind. Sind aber die Ladungsströme verschieden, so geht der Überschuss des einen über den andere

durch das Galvanometer und verursacht daselbst ganz regellose Ausschläge.

Man ist daher gezwungen, so lange Batterie anzulegen, bis das Galvanometer in einer gewissen Ablenkung so ziemlich zur Ruhe gekommen ist; erst dann beginnt man den Widerstand R zu verändern und wartet nach jeder erheblichen Veränderung der Widerstände ab, bis sich wieder am Galvanometer ein stationärer Ruhezustand zeigt. Auf diese Weise wird endlich die Nullstellung des Galvanometers und damit auch der Gleichgewichtszustand in der Brücke gefunden. Bei solchen feinen Messungen ist der Polwechsel selbstverständlich sehr wichtig und hat man bei vorkommenden Differenzen in den Ausschlägen stets das Mittel zu ziehen. Wurde nach Vornahme mehrerer Messungen durch Berechnung des Durchschnittswertes aus den erhaltenen Messergebnissen die Fehlerstelle bestimmt, so wird das Kabel an der letzteren in zwei Teile geschnitten und neue Isolationsmessungen bei beiden Teilen vorgenommen. Ist der Fehler noch nicht gefunden, so muss mit dem fehlerhaften Stücke dieselbe Prozedur vorgenommen und dies so lange fortgesetzt werden, bis der Fehler entdeckt ist.

Die Anwendung der Schleifenprobe setzt voraus, dass die Beobachtungen während der Isolationsmessung auf einen einzigen Fehler schliessen lassen, und die Fehlerbestimmung wird nach dieser Methode um so genauer, je grösser der Fehler ist. Sind jedoch zwei oder mehrere Fehler vorhanden, so giebt die Schleifenprobe eine Art Resultierender dieser Fehler an, deren Kenntnis im allgemeinen wenig nützt, und wenn dies in einem Kabel der Fall ist, bleibt nichts anderes übrig, als die gemeinsame Isolierung zu entfernen und jede Ader für sich zu untersuchen.

Die Bestimmung mehrerer Fehler in einer und derselben Ader lässt sich auf folgende Art vornehmen: Die fehlerhafte Ader wird auf eine gegen Erde isolierte Trommel A Fig. 159 aufgewunden, etwa 10 Meter davon abgewickelt und bei isoliertem Ende in einen Wasserbehälter C versenkt, in welchem eine Erdplatte eingelegt wurde. Das andere Ende der Ader wird durch das Galvanometer mit der Batterie verbunden und nun in gewöhnlicher Weise der Isolationswiderstand gemessen. Infolge dieser Anordnung fliesst durch das Galvanometer nur der Isolationsstrom, welcher aus dem im Wasser versenkten Teile der Ader zur Erdplatte abströmt, und dieser zeigt die Isolation des unter Wasser befindlichen Stückes an. Ist in demselben kein Fehler zu bemerken, so wickelt man die untersuchte Länge auf eine zweite isolierte Trommel B und legt weitere 10 Meter von der Trommel A ins Wasser. Hierauf trocknet und reinigt man die zwischen den Trommeln und dem Wasserbehälter hängenden Stücke sorgfältig

und macht eine weitere Isolationsmessung. Auf diese Weise kann man allerdings durch ein etwas umständliches und zeitraubendes Verfahren den Isolationswiderstand einer Ader auf beliebige Längen ermitteln und innerhalb dieser Längen vorhandene Fehler in unzweifelhafter Weise auffinden.

Während der Fabrikation kann es infolge von Zerrungen auch vorkommen, dass eine Kabelader reisst und dadurch ihre Kontinuität unterbrochen wird, ohne dass hierbei die Isolation an der Bruchstelle leidet. In diesem Falle lässt sich die Länge der gerissenen Teile am einfachsten genau bestimmen, indem man die Ladungskapazität der gerissenen Ader von beiden Enden bestimmt; die Kapazitäten verhalten sich dann wie die Längen der einzelnen Teile, und aus dieser Proportion lässt sich die Lage der Fehlerstelle berechnen.

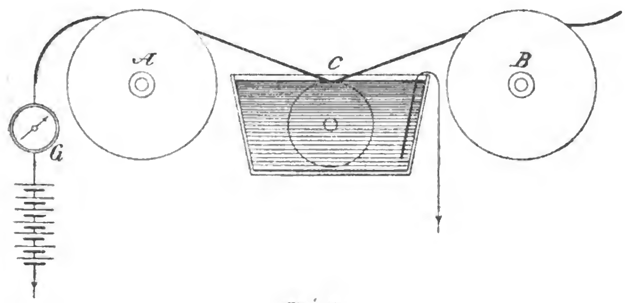


Fig. 159.

Die Fehlerbestimmungen bei bereits liegenden Kabeln laufen ebenfalls zum grössten Teile auf Widerstandsmessungen hinaus. In allen jenen Fällen, wo man bei der Untersuchung einer fehlerhaften Kabelader in derselben Strecke, sei es nun im selben Kabel oder in einem zweiten, die gleiche Trasse verfolgenden Kabel, noch eine oder mehrere fehlerfreie Kabeladern zur Verfügung hat, bedient man sich zur Fehlerbestimmung fast ausschliesslich der bereits beschriebenen Schleifenprobe. Man legt die gesunden Adern nach einander mit der fehlerhaften Ader in Schleifen, bestimmt den Widerstand einer aus zwei gesunden Adern gebildeten Schleife und kann aus den gefundenen Ergebnissen durch Rechnung leicht die Lage der Fehlerstelle ermitteln. Hat man neben der fehlerhaften Ader keine gesunde Hilfsader zur Verfügung, so macht man von einem Kabelende aus dreierlei Widerstandsmessungen. Man bestimmt den

Widerstand, wenn das entfernte Ende isoliert ist, sodann, wenn das entfernte Ende unmittelbar an Erde gelegt ist, und schliesslich, wenn das entfernte Ende durch einen bekannten Widerstand mit der Erde verbunden ist. Die drei gefundenen Widerstandswerte lassen sich durch die unbekannten Widerstände der Ader zu beiden Seiten der Fehlerstelle und durch den ebenfalls unbekannten Widerstand der Fehlerstelle selbst ausdrücken. Aus diesen drei Gleichungen werden sodann die Widerstände und hieraus die Längen der Ader zu beiden Seiten der Fehlerstelle berechnet.

Es würde zu weit führen, hier alle möglichen Arten von Fehlerbestimmungen zu besprechen; denn sowohl die Art des Fehlers selbst als auch die örtlichen Verhältnisse lassen die verschiedenartigsten Kombinationen und Messmethoden zu. [1])

Bei der Fehlerbestimmung in submarinen Leitungen werden im allgemeinen ebenfalls dieselben Messmethoden angewendet, wie sie bisher beschrieben wurden; jedoch auch hier haben sich mit der Zeit so viele Modifikationen entwickelt, dass dieses Kapitel der Messtechnik allein genügen würde, um einen voluminösen Band zu füllen. Es sei diesbezüglich auf das im Vorworte erwähnte Werk von H. D. Wilkinson, »Submarine Cable Laying and Repairing«, London 1896, verwiesen.

Bei Starkstromleitungen ist die Ermittelung von Fehlerstellen nach den beschriebenen Methoden insofern leichter durchzuführen, als man dieselben zumeist bei jedem der zahlreichen im Kabelnetze eingebauten Verbindungskästen vornehmen kann. Stromableitungen und Nebenschlüsse können bei Lichtleitungen übrigens auch auf andere Weise gefunden werden. Das einfachste Mittel zur Aufsuchung solcher Fehler ist eine Glühlampe, deren einer Kontakt mit der stromführenden fehlerhaften Leitung und deren zweiter Kontakt mit der Erde in leitende Verbindung gebracht wird. Aus der Helligkeit des glühenden Kohlenfadens kann sodann auf die Stärke der Stromableitung geschlossen werden. Will man nicht zu der sehr umständlichen Untersuchung mit Galvanometer und Batterie schreiten, welche unter Umständen eine Entfernung zahlreicher Lampen bedingt, so kann man während des Betriebes mit Hilfe der bereits früher erwähnten Prüfdrähte in den Kabeln und eines Torsions-Galvanometers, von der Zentrale aus, die Spannung an den fehlerhaften Stellen bestimmen. Abnorme Spannungsverluste lassen auf die Störung des metallischen Kontaktes in den Kupferleitern oder auf defekte Verbindungen und Stromverluste schliessen.

---

[1]) Näheres hierüber siehe: J. Zacharias, Die Unterhaltung und Reparatur der elektrischen Leitungen für alle Zwecke der Praxis, Wien 1884.

Namen- und Sachregister.

(Die Zahlen beziehen sich auf die Seiten.)

Berichtigungen.

Seite	Zeile	
83	4	von unten soll es heissen: **Clark & Sabine** statt Ceark & Sabine,
91	3	» » » » » **G. U. G. Holmann** statt G. U. G. Holmauer

Druck und Verlag von Oskar Leiner in Leipzig. 40745





